



**TESIS - ME142516**

# **REDESAIN SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK KAPAL DENGAN TOPOLOGI ZONAL**

**DANANG CAHYAGI**

**04211650010005**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Dr. EDDY SETYO KOENHARDONO, S.T., M.Sc.**

**Dr. MAT SYAI'IN, S.T., M.T., Ph.D**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2018**





**TESIS - ME142516**

# **REDESAIN SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK KAPAL DENGAN TOPOLOGI ZONAL**

**DANANG CAHYAGI**  
**04211650010005**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Dr. EDDY SETYO KOENHARDONO, S.T., M.Sc.**  
**Dr. MAT SYAI'IN, S.T., M.T., Ph.D**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**  
**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2018**









## LEMBAR PENGESAHAN

Judul Thesis : Redesain Sistem Distribusi Listrik Kapal dengan Topologi Zonal  
Oleh : Danang Cahyagi  
NRP : 04211650010005

Telah diujikan pada:

Hari, Tanggal : Rabu, 17 Januari 2018  
Periode Wisuda : Maret 2018


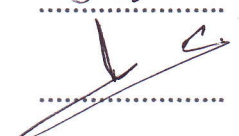
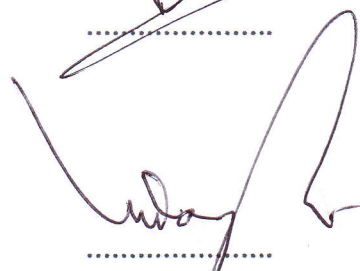

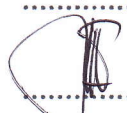
Untuk mendapatkan gelar MAGISTER TEKNIK pada  
Program Magister Teknik Sistem Perkapalan  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

### Dosen Pembimbing:

1. Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T., M.Sc.  
NIP. 196807011995121001
2. Dr. Mat Syai'in, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 197711142008121002

### Dosen Penguji:

1. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng  
NIP. 195808071984031004
2. A.A.Bagus Dinariyana Dwi P., ST., MES., Ph.D  
NIP. 197505102000031001
3. Dr. Dhimas Widhi Handani, ST., M.Sc.  
NIP. 198705272014041001

  
.....  
  
.....  
  
.....  
  
.....  
  
.....



Dekan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

  
Prof. Ir. Daniel Mohammad Rosyid, Ph.D.  
NIP. 19610702 198803 1 003



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# REDESAIN SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK KAPAL DENGAN TOPOLOGI ZONAL

Nama Mahasiswa : Danang Cahyagi  
NRP : 04211650010005  
Dosen Pembimbing : Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T., M.Sc.  
Dr. Mat Syai'in, S.T., M.T., Ph.D

## ABSTRAK

Sistem distribusi zonal merupakan sistem yang dikembangkan oleh militer dan diterapkan pada kapal tempur. Secara praktis, sistem ini memiliki tiga ide mendasar yaitu penggunaan dua busbar utama (*port bus* dan *starboard bus*), zonasi beban, dan rekayasa pengaturan distribusi. Dengan mode tersebut, sekuritas daya, ketahanan, dan keandalan distribusi listrik dapat ditingkatkan secara signifikan. Pada thesis ini, kami memberikan prespektif yang berbeda dalam penerapan sistem distribusi zonal tersebut untuk menggantikan sistem distribusi eksisting yaitu sistem distribusi terpisah pada kapal non-militer. Adapun tujuan yang ingin dicapai adalah untuk mengetahui perbandingan sistem zonal dan sistem terpisah dalam proses perancangan sistem, performa distribusi, estimasi biaya investasi, dan manfaat yang akan dimanfaatkan. Studi yang digunakan untuk menguji coba performa distribusi adalah dengan studi aliran daya. Metode studi aliran daya yang digunakan adalah metode *network topology based*. Dari penerapan studi aliran daya didapatkan bahwa sistem zonal mampu mendistribusikan daya lebih baik dengan tegangan suplai pada beban berada pada 378 V (99,38%) dibandingkan dengan radial 375 V (98,68%). Sistem zonal mampu mereduksi jumlah kabel yang digunakan sehingga dalam totalnya mengurangi biaya investasi sistem (7%). Pada analisis biaya investasi dan operasional, sistem radial dan zonal propulsi mekanis memiliki nilai yang hampir sama karena hanya dibedakan dari selisih investasi 17 juta rupiah. Sedangkan zonal dengan sistem elektris mampu memberikan penghematan lebih efektif akibat dari fleksibilitas penggunaan dayanya Sistem zonal akan lebih memberikan manfaat penghematan biaya operasional apabila juga menerapkan sistem propulsi elektris. Penghematan yang didapatkan pada tahun ke 15 adalah 12 miliar rupiah, dan tahun ke 25 adalah 37 miliar rupiah.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **REDESIGN SHIPBOARD ELECTRICAL DISTRIBUTION WITH ZONAL TOPOLOGY**

Name of Student : Danang Cahyagi  
Student Number : 04211650010005  
Supervisors : Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T., M.Sc.  
Dr. Mat Syai'in, S.T., M.T., Ph.D

## **ABSTRACT**

*The zonal distribution system is currently developed by the military and applied to combat ships. In general, the system has three basic ideas: the use of two main bus bars (bus port and starboard bus), load zoning, and power distribution configuration. With those modes, power securities, survivability, and reliability of power distribution can be significantly improved. In this thesis we provide a different perspective in the application of the zonal distribution system to replace the existing distribution system i.e. the segregated distribution system on non-military vessels. The objective to be achieved is to find the comparison of zonal and segregated systems in the process of system design, distribution performance, investment cost estimation, and benefits. The study used to test the performance of the distribution is with a power flow analysis. The power flow method used is network topology based. From the application of the power flow, the zonal system is able to distribute the power better with the supply voltage at load at 378 V (99.38%) compared to the 375 V radial (98,68%). The zonal system can reduce the number of cables used so that in total reduce the system investment cost (7%). In the analysis of investment and operational costs, radial and zonal mechanical propulsion systems have almost the same value because they are only distinguished from the difference in investment of 17 million rupiah. While the zonal with electrical propulsion systems can provide more effective savings resulting from the flexibility of the use of power Zonal system will provide more benefits operational cost savings when also apply electrical propulsion system. The savings earned in the 15th year is 12 billion rupiah, and the 25th year is 37 billion rupiah.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT. yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ini dengan sebaik-baiknya. Penulisan ini ditujukan untuk memenuhi penyelesaian Tesis dengan judul “Redesain Sistem Distribusi Listrik Kapal Dengan Topologi Zonal”. Penulis menyadari tesis ini tidak akan dapat diselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua Bapak Sugito dan Ibu Marwiyah yang telah mendidik dan membesarkan penulis, adik – adik Dwi Ariwibowo, Putri Rizkia Triastuti, dan Dimas Ramadhan, serta wanita yang selalu menemani penulis Yunita Rahayu.
2. Bapak Prof. Ir. Daniel Mohammad Rosyid, Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.
3. Bapak DR. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T. selaku Departemen Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya.
4. Bapak Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T., M.T., dan Dr. Mat Syai'in, Ph.D. selaku dosen pembimbing tidak hanya pada tesis namun yang telah membuka wawasan tentang ilmu yang saat ini penulis tekuni yaitu bidang kelistrikan, dan memberikan semangat untuk terus belajar.
5. Bapak Dr. R.O. Saut Gurning, selaku dosen wali, yang selama program magister ini telah mendukung dan memberikan makna tentang arti kerja keras.
6. Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc, selaku kepala Lab Laboratorium Listrik Kapal dan Otomatisasi (MEAS) yang memberikan kesempatan untuk bergabung bersama dan memberikan bimbingan yang sangat luar biasa baik dalam kaitannya dengan Lab maupun dengan kehidupan sehari – hari.
7. Teman-teman seangkatan, senior, maupun junior yang telah memberikan motivasi dan ide.

Penulis menyadari karya tulis ini tidak luput dari berbagai kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan dan perbaikan untuk pengembangan lebih lanjut.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan.....	2
1.3. Perumusan Masalah.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Hipotesis.....	3
1.6. Dampak yang diharapkan.....	3
BAB 2 STUDI LITERATUR .....	5
2.1. Sistem Propulsi dan Distribusi Listrik pada Kapal .....	5
2.2. Sistem Konvensional.....	6
2.3. Sistem Modern .....	7
2.4. Penelitian yang telah dilakukan.....	10
2.5. Perancangan sistem distribusi listrik .....	15
2.5.1. Studi Keseimbangan Beban .....	15
2.5.2. Pemilihan Unit Proteksi .....	17
2.6. Studi aliran daya.....	19
2.7. Analisa estimasi biaya kelistrikan .....	26
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	29
3.1. Metode penelitian .....	29
3.2. Prosedur penelitian.....	30
3.3. Data Kapal Eksisting.....	31
3.3.1. Dimensi umum.....	31
3.3.2. Data beban kelistrikan kapal .....	32
3.4. Perencanaan ulang sistem distribusi listrik dengan sistem zonal.....	39

3.4.1.	Pendefinisian sistem permesinan .....	40
3.4.2.	Pengelompokan beban .....	41
3.4.3.	Rencana desain sistem distribusi .....	46
3.4.4.	Pemilihan unit proteksi sistem distribusi listrik.....	49
3.4.5.	Single line diagram .....	50
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		53
4.1.	Studi aliran daya.....	53
4.1.1.	Bus-Injection to Branch-Current Matrix (BIBC).....	55
4.1.2.	Branch-Current to Bus-Voltage Matrix (BCBV).....	56
4.1.3.	DLF Matrix .....	57
4.1.4.	Proses Iterasi .....	57
4.1.5.	Hasil studi aliran daya.....	60
4.1.6.	Perbandingan distribusi tegangan sistem zonal dan sistem terpisah.....	61
4.2.	Pengembangan <i>User Interface</i> .....	62
4.3.	Analisis manfaat.....	63
4.3.1.	Analisa pendekatan kegagalan dengan metode <i>Fault Tree Analysis</i> .....	63
4.3.2.	Studi Biaya Investasi dengan mempertahankan sistem propulsi mekanis.....	66
4.3.3.	Studi Biaya Investasi dengan menerapkan sistem propulsi elektrik .....	67
4.5.	Analisis manfaat dan biaya.....	68
4.5.1.	Analisis Mode Operasi.....	68
4.5.2.	Analisis penggunaan bahan bakar.....	70
4.5.3.	Perhitungan analisis manfaat dan biaya. ....	72
4.5.4.	Hasil analisis manfaat dan biaya dari implementasi sistem zonal .....	77
BAB 5 KESIMPULAN.....		79
REFERENSI .....		81
Lampiran I Single line diagram sistem terpisah ( <i>Segregated system</i> ) .....		85
Lampiran II Single line diagram sistem distribusi zonal .....		87
Lampiran III Perhitungan aliran daya .....		89
Lampiran IV Tampilan user interface.....		91
Lampiran V Rincian harga sistem.....		93

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Perbandingan penggunaan bahan bakar antara dua mesin diesel (Caterpillar Inc., 2010) .....	7
<b>Tabel 2. 2</b> Perbandingan berat antara sistem konvensional dan sistem zonal (Ciezki & Ashton, 2000).....	10
<b>Tabel 2. 3</b> Perbandingan biaya antara sistem konvensional dan sistem zonal (Ciezki & Ashton, 2000).....	10
<b>Tabel 2. 4</b> Contoh format tabel perhitungan kebutuhan generator di kapal (Patel, 2012) & (Sarwito, 1995) .....	16
<b>Tabel 2. 5</b> Data rating circuit breaker.....	18
<b>Tabel 2. 6</b> Klasifikasi estimasi biaya menurut IEEE Standard 141 (IEEE , 1993) .....	28
<b>Tabel 3. 1</b> Informasi data generator .....	32
<b>Tabel 3. 2</b> Rincian beban Main Switch Board (MSB) .....	34
<b>Tabel 3. 3</b> Rincian beban Galley Bus .....	35
<b>Tabel 3. 4</b> Rincian beban Emergency Switch Board (ESB).....	35
<b>Tabel 3. 5</b> Rincian beban Bus DBLM .....	36
<b>Tabel 3. 6</b> Batt Load Bus.....	36
<b>Tabel 3. 7</b> Bus DBDCN.....	36
<b>Tabel 3. 8</b> Bus DBDCU.....	37
<b>Tabel 3. 9</b> Bus DBNL.....	37
<b>Tabel 3. 10</b> Bus DBLU.....	37
<b>Tabel 3. 11</b> Radio Bus .....	37
<b>Tabel 3. 12</b> Navcom Bus .....	38
<b>Tabel 3. 13</b> Bus DBLB .....	38
<b>Tabel 3. 14</b> Navigation Equipment Bus (1).....	39
<b>Tabel 3. 15</b> Navigation Equipment (2).....	39
<b>Tabel 3. 16</b> Navigation Equipment (3).....	39
<b>Tabel 3. 17</b> Data generator yang digunakan pada sistem distribusi zonal*) .....	40
<b>Tabel 3. 18</b> Data motor propulsi elektrik.....	42
<b>Tabel 3. 19</b> Data beban Zona 1 .....	42
<b>Tabel 3. 20</b> Data beban zona 2 .....	42
<b>Tabel 3. 21</b> Data beban Zona 3 .....	43

<b>Tabel 3. 22</b> Data beban zona 4 .....	43
<b>Tabel 3. 23</b> Data beban zona 5 .....	43
<b>Tabel 3. 24</b> Data beban zona 6 .....	44
<b>Tabel 3. 25</b> Data beban zona 7 .....	44
<b>Tabel 3. 26</b> Data zona 8.....	45
<b>Tabel 3. 27</b> Perhitungan kebutuhan daya listrik berdasarkan mode operasi .....	46
<b>Tabel 3. 28</b> Sampel pemilihan circuit breaker.....	49
<b>Tabel 3. 29</b> Pemilihan konduktor untuk beban kelistrikan.....	49
<b>Tabel 3. 30</b> Tabel data jaringan distribusi .....	50
<b>Tabel 4. 1</b> Hasil penyelesaian studi aliran daya .....	60
<b>Tabel 4. 2</b> Perbandingan antara distribusi tegangan pada sistem zonal dan sisem terpisah....	61
<b>Tabel 4. 3</b> Parameter nilai kegagalan komponen .....	63
<b>Tabel 4. 4.</b> Perbandingan nilai investasi antara sistem radial dan zonal dengan sistem propulsi mekanis .....	66
<b>Tabel 4. 5</b> Perbandingan biaya investasi antara sistem propulsi mekanis dan propulsi listrik .....	67
<b>Tabel 4. 6</b> Informasi data kecepatan, jarak, dan waktu dalam satu kali operasi .....	69
<b>Tabel 4. 7</b> Karakteristik penggunaan bahan bakar .....	70
<b>Tabel 4. 8</b> Perhitungan bahan bakar pada sistem propulsi mekanis.....	70
<b>Tabel 4. 9</b> Perhitungan bahan bakar pada sistem propulsi listrik. ....	71
<b>Tabel 4. 10</b> Parameter perhitungan biaya investasi dan operasional.....	73
<b>Tabel 4. 11</b> Perhitungan biaya investasi dan operasional : Sistem Radial – Propulsi Mekanis .....	74
<b>Tabel 4. 12</b> Perhitungan biaya investasi dan operasional : Sistem Zonal – Propulsi Mekanis	75
<b>Tabel 4. 13</b> Perhitungan biaya investasi dan operasional: Zonal Propulsi Listrik .....	76



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Ilustrasi sistem distribusi terpisah. ....	6
<b>Gambar 2. 2</b> Sistem distribusi daya radial (Vafamehr, 2011) .....	8
<b>Gambar 2. 3</b> Sistem distribusi daya pada kapal USS Arleign Burke dengan AC ZEDs.....	9
<b>Gambar 2. 4</b> Rekonfigurasi sistem konvensional menjadi sistem zonal (Ciezki & Ashton, 2000) .....	10
<b>Gambar 2. 5</b> (a) Konfigurasi sistem zonal untuk analisa konverter (b) Hasil analisa tegangan sistem zonal (Baran & Mahajan, 2013) .....	11
<b>Gambar 2. 6</b> (a) Rekonfigurasi zonal dua tingkat; (b) Perbandingan nilai interupsi (Dubey & Santoso, 2016).....	11
<b>Gambar 2. 7</b> Rekonfigurasi zonal untuk penelitian sistem propulsi; (b) Hasil simulasi stabilitas tegangan sistem (Wu, et al., 2012) .....	12
<b>Gambar 2. 8</b> (a) Studi proteksi sistem zonal (b) Hasil simulasi sistem proteksi (Fei, et al., 2013) .....	12
<b>Gambar 2. 9</b> (a) Rekonfigurasi sistem zonal AC; (b) Hasil simulasi perbandingan sistem konvensional dan sistem zonal (Cahyagi & Koenhardono, 2017).....	13
<b>Gambar 2. 10</b> Hasil desain single line perancangan sistem distribusi listrik (Vafamehr, 2011) .....	14
<b>Gambar 2. 11</b> Hasil perbandingan nilai interupsi pada penerapan rekonfigurasi sistem distribusi dengan topologi zonal (Stevens, et al., 2013) .....	15
<b>Gambar 2. 12</b> Jaringan tiga fasa (Chen, et al., 1991) .....	21
<b>Gambar 2. 13</b> Sistem distribusi sederhana (Teng, J.H., 2003) .....	22
 <b>Gambar 3. 1</b> Metode penelitian rekonfigurasi redesain sistem ditribusi listrik kapal dengan topologi zonal .....	29
<b>Gambar 3. 2</b> Konfigurasi busbar pada kapal kajian .....	33
<b>Gambar 3. 3</b> Single line diagram kapal eksisting .....	33
<b>Gambar 3. 4</b> Layout Generator pada sistem zonal .....	40
<b>Gambar 3. 5</b> Rencana umum sistem distribusi listrik dengan sistem zonal. ....	47
<b>Gambar 3. 6</b> Peletakan panel distribusi .....	48
<b>Gambar 3. 7</b> Peletakan panel distribusi: 3D View .....	48
<b>Gambar 3. 8</b> Single line diagram sistem zonal .....	51

<b>Gambar 4. 1</b> Sistem distribusi zonal dan pembagian bebannya .....	54
<b>Gambar 4. 2</b> Pemetaan sistem distribusi listrik saat beroperasi normal .....	54
<b>Gambar 4. 3</b> User interface studi aliran daya .....	62
<b>Gambar 4. 4</b> Diagram FTA dari sistem eksisting .....	64
<b>Gambar 4. 5</b> Diagram FTA sistem distribusi zonal.....	65
<b>Gambar 4. 6</b> Perbandingan nilai investasi kabel dan busbar pada sistem radial dan zonal dengan propulsi mekanis.....	66
<b>Gambar 4. 7</b> Prediksi biaya investasi apabila menggunakan sistem zonal propulsi listrik..	67
<b>Gambar 4. 8</b> Simulasi mode operasi kapal .....	68
<b>Gambar 4. 9</b> Pola kebutuhan daya dalam satu fase pengoperasian .....	69
<b>Gambar 4. 10</b> Perbandingan biaya investasi sistem propulsi mekanis dan listrik. ....	72
<b>Gambar 4. 14</b> Akumulasi pengeluaran biaya pertahun dari implementasi sistem zonal dan sistem radial. ....	77

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pada sistem kelistrikan kapal niaga, kontinuitas pengoperasian peralatan listrik di kapal merupakan hal yang mempengaruhi kualitas pengoperasiannya (Dubey & Santoso, 2016). Kegagalan sistem distribusi listrik pada kapal merupakan kejadian vital yang dapat mengganggu produktifitas dan operasional (Willis, 2004). Sebagai contoh, kegagalan sistem distribusi listrik dapat menyebabkan kapal kehilangan kendali dalam hal pergerakan maupun dalam proses sistem permesinannya. Selain itu, kegagalan sistem kelistrikan dapat berdampak kepada keselamatan kru dan misi yang dibawanya (Ciezki & Ashton, 2000) (Meer, et al., 2005).

Kegagalan sistem distribusi dapat disebabkan oleh kegagalan faktor internal seperti kerusakan *transformer*, *circuit breaker*, dan kabel. Selain itu, kegagalan kelistrikan juga dapat disebabkan oleh faktor eksternal seperti cuaca buruk, hantaman fisik, dan *human error*. Oleh karena itu, pengembangan sistem distribusi listrik merupakan salah satu penelitian yang telah dijalankan guna meningkatkan kualitas penyediaan listrik pada kapal (Short, 2006).

Hingga saat ini, kapal menggunakan sistem distribusi terpisah untuk mendistribusikan listriknya (Jayasinghe, et al., 2017). Sistem terpisah merupakan sistem yang memisahkan sistem propulsi dengan sistem kelistrikannya. Sistem ini memiliki keunggulan dari sisi kemudahan instalasi, perawatan, dan operasional. Meskipun demikian, salah satu kelemahan pada sistem ini adalah kapasitas daya berlebih pada saat sistem propulsi sedang dalam putaran rendah atau tidak bergerak tidak dapat digunakan. Oleh sebab itu, pengembangan sistem distribusi daya pada kapal perlu untuk dikembangkan guna meningkatkan efisiensi daya, dan keselamatan kapal (IMO, 2003) (Emadi, et al., 2004).

Salah satu pengembangan dari sistem distribusi daya pada kapal adalah sistem distribusi zonal (Henger & Desai, 2002) (Ciezki & Ashton, 2000). Sistem distribusi zonal menawarkan penggunaan daya yang lebih efisien, dan kontinuitas daya yang lebih baik. Distribusi zona dapat dilakukan dengan sistem ac maupun sistem dc (Jayasinghe, et al., 2017).

Distribusi zonal merupakan pengembangan lebih lanjut dari sistem pendayaan kapal terintegrasi (*integrated shipboard power*) (Zivi, 2002). Sistem pendayaan terintegrasi merupakan desain dimana sistem daya pada permesinan utama dan bantu dibuat menyatu.

Sistem zonal sendiri didefinisikan sebagai integrasi bus yang dapat terhubung satu sama lain (Emadi, et al., 2004).

AC Zonal Distribution digunakan pada kapal USS Arleigh Burke (DDG-51) (lihat gambar 2.2), dan USS Makin Island . Perbedaan antara sistem distribusi listrik kapal AC ZEDS dengan kapal lain adalah kemampuan untuk mendistribusikan daya dengan dua jaringan yaitu *port bus rail*, dan *starboard bus rail* (Tidd, 2010) (LCE, 2014)

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan pandangan dan perbandingan antara penggunaan sistem distribusi zonal dengan sistem radial yang saat ini umum digunakan. Seberapa jauh dampak dari implementasi zonal pada kapal, akan menjadi pokok pembahasan dari penelitian ini. Dampak yang dimaksud adalah penggunaan daya, kestabilan daya, dan analisa manfaat dan biaya.

## **1.2. Tujuan**

Tujuan dari pengerjaan thesis ini adalah,

1. Memahami proses implementasi sistem zonal
2. Memahami performa distribusi daya sistem zonal
3. Mengetahui prediksi biaya dari implementasi sistem zonal
4. Mengetahui manfaat yang dengan mengimplementasikan sistem zonal

## **1.3. Perumusan Masalah**

Perumusan masalah dari penelitian ini adalah,

1. Bagaimana proses implementasi sistem zonal
2. Bagaimana performa distribusi daya sistem zonal
3. Bagaimana prediksi biaya dari implementasi sistem zonal
4. Bagaimana manfaat yang dengan mengimplementasikan sistem zonal

## **1.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada pengerjaan thesis ini adalah,

1. Analisa performa distribusi daya pada sistem kelistrikan
2. Analisa prediksi biaya akibat implementasi
3. Analisa manfaat dan biaya

### **1.5. Hipotesis**

Adapun hipotesis pada pengerjaan thesis ini adalah,

1. Rekonfigurasi dengan topologi zonal akan membuat sistem menjadi lebih kompleks
2. Rekonfigurasi dengan topologi zonal akan membuat kuat hantar arus peralatan listrik menjadi lebih tinggi

### **1.6. Dampak yang diharapkan**

Dampak yang diharapkan pada penelitian redesain sistem distribusi listrik kapal dengan topologi zonal adalah,

1. Dapat dikembangkan sebuah kesimpulan bahwa rekonfigurasi sistem distribusi listrik kapal dengan topologi zonal memberikan keunggulan disektor keandalan dan finansial.
2. Hasil dari kesimpulan dapat dijadikan sebuah rekomendasi pada pemilik kapal, galangan, maupun *stakeholders* lain dalam mengembangkan sistem topologi zonal.
3. Penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi penelitian selanjutnya terkait topik implementasi topologi zonal.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 2

### STUDI LITERATUR

#### 2.1. Sistem Propulsi dan Distribusi Listrik pada Kapal

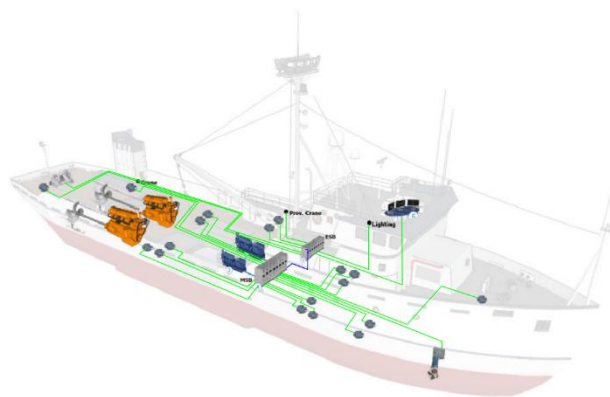
Sistem propulsi pada kapal terbagi menjadi sistem propulsi mekanis dan sistem propulsi elektrik. Pada sistem propulsi mekanis, sistem permesinan pada kapal dibagi menjadi dua bagian, yaitu sistem utama dan sistem bantu. Sistem utama pada sistem propulsi mekanis merupakan pembangkitan daya melalui motor bakar (diesel, natural gas, nuklir, dll) sebagai penggerak propulsi. Sistem bantu pada sistem propulsi mekanis berperan sebagai pembangkitan daya listrik untuk menyuplai daya pada peralatan listrik yang digunakan guna menunjang sistem propulsi seperti sistem bahan bakar, air pendingin, pelumas, dan udara bertekanan (Jayasinghe, et al., 2017).

Sistem distribusi listrik memiliki beberapa konfigurasi dan panjang sirkuit yang berbeda. Masing – masing konfigurasi kelistrikan memiliki karakteristik yang berbeda pula. Sirkuit *feeder* utama merupakan jalinan tiga fasa yang menjadi sirkuit utama dalam sistem distribusi listrik. Sirkuit *feeder* utama sering disebut dengan *mains* atau *mainsline*. Pada umumnya *mainsline* memiliki ukuran konduktor 500 atau 750 kcmil dengan bahan aluminium. Fasilitas distribusi listrik sering didesain dengan *feeder* utama untuk 400 A dan mampu beroperasi pada keadaan emergency 600 A. Percabangan dari *feeder* utama adalah satu atau lebih lateral yang sering disebut sebagai *tap*, *lateral tap*, *branches*, atau *brachlines*. Lateral dapat terdiri dari satu fasa, dan tiga fasa. Pada umumnya lateral memiliki fuse yang memisahkannya dengan *feeder* utama saat terjadi kegagalan (Short, 2006) (Jayasinghe, et al., 2017) (Lan, et al., 2016) (Mindykowski, 2016).

Menurut Mukund R. Patel didalam buku *Shipboard Power System* (Patel, 2012), sistem distribusi dari pembangkit hingga beban yang disuplai, merupakan proses yang menentukan kontinuitas dari sebuah sistem kelistrikan di kapal. Masing – masing konfigurasi kelistrikan juga memiliki karakteristiknya masing-masing (Short, 2006). Sistem distribusi memiliki pengaruh yang sangat besar dalam menjaga kontinuitas suatu sistem yang beroperasi di kapal (Dubey & Santoso, 2016). Beberapa sistem distribusi daya listrik diatas kapal yang telah diperkenalkan saat ini adalah *traditional segregated distribution*, *radial distribution*, *AC zonal distribution*, dan *DC zonal distribution* (Jayasinghe, et al., 2017) (Dubey & Santoso, 2016) (Kanellos, et al., 2016) (Lan, et al., 2016).

## 2.2. Sistem Konvensional

Sistem distribusi daya yang didesain pada sebuah kapal konvensional umumnya adalah sistem distribusi terpisah (*segregated system*) (lihat gambar 2.1). Sistem distribusi terpisah merupakan sistem distribusi yang membagi sistem pendayaan menjadi sistem permesinan propulsi, dan sistem permesinan bantu. Secara umum, sistem permesinan propulsi merupakan sistem dengan fungsi untuk mendorong kapal pada kecepatan yang dibutuhkan, proses berhenti, mundur, dan kemampuan manuver. Pada sistem distribusi terpisah, daya untuk mengoperasikan sistem propulsi utama dijalankan secara independen dari sistem bantunya. Pada umumnya, kapal digerakkan oleh mesin diesel, turbin uap, turbin gas, dan nuklir. Permesinan bantu pada sistem terpisah digunakan untuk menunjang sistem permesinan utama (bahan bakar, sistem pelumas, dan sistem pendingin mesin. Sistem permesinan bantu juga berperan sebagai penyedia daya permesinan bongkar muat, permesinan geladak, permesinan hvac, sistem kendali elektronik, peralatan komunikasi, peralatan bengkel, dan beban akomodasi.



**Gambar 2. 1** Ilustrasi sistem distribusi terpisah.

Kelebihan dari sistem distribusi terpisah adalah sistem pendayaan yang lebih sederhana, dan rating daya listrik yang lebih rendah. Pendayaan lebih sederhana dikarenakan pemisahan kinerja mesin utama dan permesinan bantu. Pemisahan tersebut akan membuat perancangan, instalasi, dan operasi lebih mudah. Berapapun daya yang di butuhkan untuk propulsi, mesin induk akan bekerja secara kontinu. Rating daya listrik menjadi lebih rendah dikarenakan hanya menangani permesinan yang bantu. Rating daya listrik yang rendah akan membuat peluang terjadinya kecelakaan akibat sengatan listrik juga lebih rendah.



Sistem distribusi terpisah (*segregated system*) juga memiliki beberapa kekurangan. Kekurangan sistem distribusi berasal dari penggunaan daya cenderung tidak fleksibel. Hal ini berkaitan dengan pengoperasian mesin induk. Mesin induk umumnya selalu digunakan secara kontinu meskipun rating daya yang dibutuhkan berbeda. Penggunaan mesin induk pada rating yang sangat rendah akan membuat konsumsi bahan bakar menjadi lebih tinggi. Tabel 2.1 menampilkan bahwa meskipun kedua mesin menghasilkan daya 1000 kW, konsumsi bahan bakar mesin dapat berbeda akibat faktor pembebanannya.

**Tabel 2. 1** Perbandingan penggunaan bahan bakar antara dua mesin diesel (*Caterpillar Inc., 2010*)

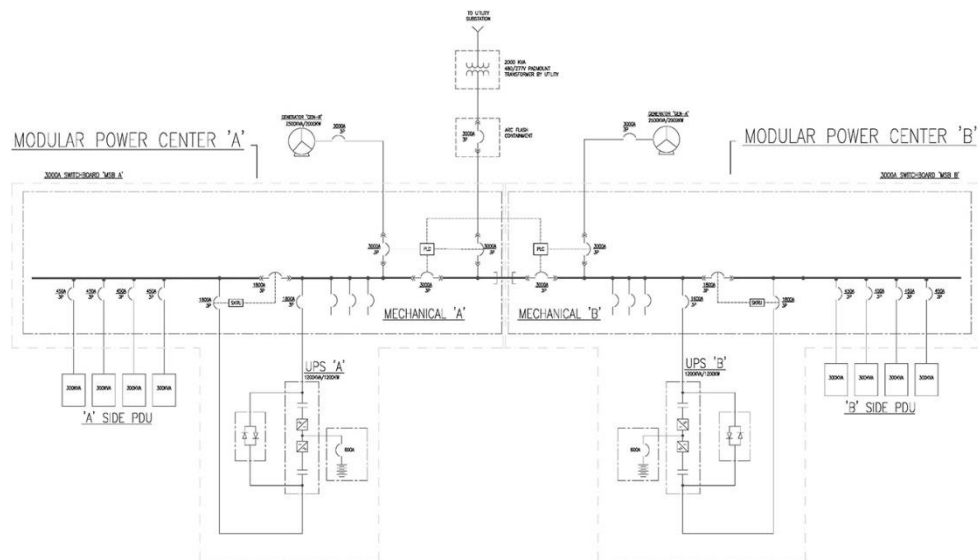
CAT 3512C HD (1765 kW)			CAT C280-12 (4600 kW)		
Engine Power bkW	BSFC g/kW-hr	Fuel Rate L/hr	Power bkW	Fuel Cons <sup>3</sup> g/ kW-hr	Fuel Rate L/hr
1765	216	447	4060	205	992.1
1021	196	239	3694	207	911.5
665	201	159	3451	201	826.7
403	201	97	2480	202	597.2
221	202	53	2070	206	508.3
83	240	24	1660	210	415.5
			1444	212	364.9
			1350	216	347.6
			1040	225	278.9

### 2.3. Sistem Modern

Seiring dengan perkembangan teknologi, sistem tenaga yang menawarkan ketahanan, keandalan, dan efisiensi yang lebih tinggi telah menjadi tujuan utama (Jayasinghe, et al., 2017) (Dubey & Santoso, 2016). Perkembangan ini terus dilakukan untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada sistem terpisah. Salah satunya adalah untuk mengatasi efisiensi penggunaan daya mesin induk. Pada sistem modern, sistem propulsi kapal cenderung ke arah sistem propulsi listrik.

Sistem propulsi listrik dianggap mampu menyesuaikan daya yang dibutuhkan oleh kapal pada mode operasi yang berbeda. Dua sistem distribusi yang saat ini dikembangkan adalah sistem radial terpusat (*integrated radial system*), dan zonal (*zonal electrical distribution system*). Kedua sistem tersebut sama – sama berpropulsi listrik, namun sistem zonal memungkinkan satu zona beban disuplai dari dua bus yang berbeda.

Pada sistem distribusi radial terpusat, distribusi daya sistem propulsi utama dan sistem bantu didesain menjadi satu kesatuan. Sistem distribusi radial terdiri atas feeder, dan lateral. Feeder merupakan rangkaian utama dari sistem distribusi listrik. Percabangan dari feeder dapat terdiri dari satu atau lebih lateral. Lateral dapat berupa satu fasa, atau tiga fasa. Pada sistem ini, feeder dari pembangkit utama dan peralatan listrik hanya terdapat satu jalur suplai. Sistem distribusi radial yang menggabungkan sistem pembangkitan daya dikenal sebagai *integrated propulsion system*. Pengembangan sistem distribusi radial dengan sistem propulsi elektrik akan memberikan kemudahan pengontrolan kecepatan. Keunggulan dari sistem radial yaitu, penentuan lokasi kegagalan lebih mudah, pengaturan tegangan lebih mudah, prediksi dan kontrol aliran daya lebih mudah, dan investasi fasilitas lebih rendah. Meskipun secara instalasi mudah, sistem radial juga memiliki kelemahan. Kelemahan tersebut diantaranya adalah rangkaian distribusi yang paling dekat dengan pembangkit akan memiliki beban yang paling besar, pengguna daya listrik akan bergantung kepada jalur distribusi tunggal, dan pengguna daya paling jauh dengan pembangkit daya akan mengalami ketidakstabilan tegangan. Apabila rangkaian feeder mengalami kegagalan, lateral yang disuplai dan sistem dibawahnya akan juga akan mengalami kegagalan. Gambar 2.2 menampilkan sistem distribusi radial.

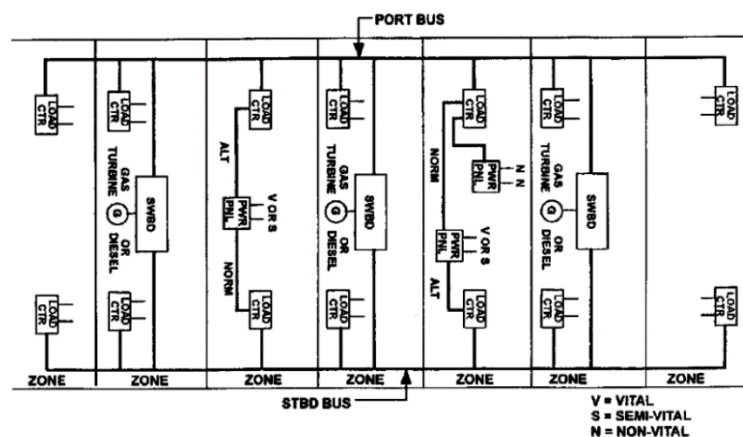


**Gambar 2. 2** Sistem distribusi daya radial (Vafamehr, 2011)

Menurut Jayasinghe dan tim (Jayasinghe, et al., 2017) (Yadav & Dash, 2014) (Mindykowski, 2016), disaat sistem distribusi radial telah diaplikasikan secara luas, kebutuhan sistem distribusi yang lebih efisien perlu dikembangkan. Sistem diharapkan memiliki higher survivability, reliability and efficiency. *Zonal distribution* merupakan salah satu solusi dalam menjawab kebutuhan tersebut. *Zonal distribution system* dibedakan menjadi *AC Zonal Distribution*, dan *DC Zonal Distribution*.

Menurut, Dubey dan Santoso (Dubey & Santoso, 2016), sistem distribusi zona dianggap sebagai sebuah metode untuk mendapatkan sistem distribusi yang handal. Sistem distribusi yang digunakan adalah sistem distribusi zona DC. Dalam penelitiannya, sistem distribusi zona didesain dengan *choice of circuit topology*, *optimal equipment placement*, dan optimalisasi *reliable circuit topology*. Pada kesimpulan, sistem distribusi dapat dioptimalisasikan melalui semua metode tersebut. Sistem yang paling optimal adalah sistem *breaker and a half topology* (BAAH).

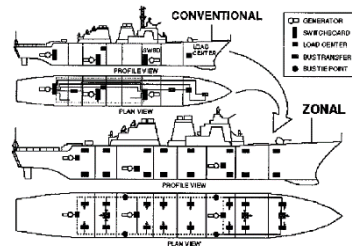
AC Zonal Distribution digunakan pada kapal USS Arleigh Burke (DDG-51) (lihat Gambar 2.3), dan USS Makin Island (Tidd, 2010) (LCE, 2014). Perbedaan antara sistem distribusi listrik kapal AC ZEDS dengan kapal lain adalah kemampuan untuk mendistribusikan daya dengan dua jaringan yaitu *port bus rail*, dan *starboard bus rail*. Bus rail dan beban listrik kapal disegmentasikan secara geografik. Sistem distribusi ini memiliki kabel dengan kuat hantar arus yang lebih besar, dan lebih panjang. Sistem ini juga membutuhkan penambahan peralatan khusus. Meskipun demikian, penggunaan *Zonal Distribution* mampu mengakomodasi sistem distribusi yang lebih handal. Distribusi daya pada beban listrik dapat dilakukan lebih dari satu jaringan, sehingga kegagalan pada satu jaringan tidak akan menyebabkan kegagalan sistem. (Tidd, 2010)



**Gambar 2. 3** Sistem distribusi daya pada kapal USS Arleigh Burke dengan AC ZEDs

## 2.4. Penelitian yang telah dilakukan

(Ciezki & Ashton, 2000) melakukan penelitian tentang pemilihan dan stabilitas sistem distribusi listrik kapal perang USS Arlein Burke dengan DC Zonal. Dari hasil studi, sistem distribusi zonal memiliki berat yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem konvensional. Sistem zonal juga mereduksi biaya material dan pekerja sebesar \$1.373M per kapal (lihat Gambar 2.4, Tabel 2.2, dan Tabel 2.3).



**Gambar 2. 4** Rekonfigurasi sistem konvensional menjadi sistem zonal (Ciezki & Ashton, 2000)

**Tabel 2. 2** Perbandingan berat antara sistem konvensional dan sistem zonal (Ciezki & Ashton, 2000)

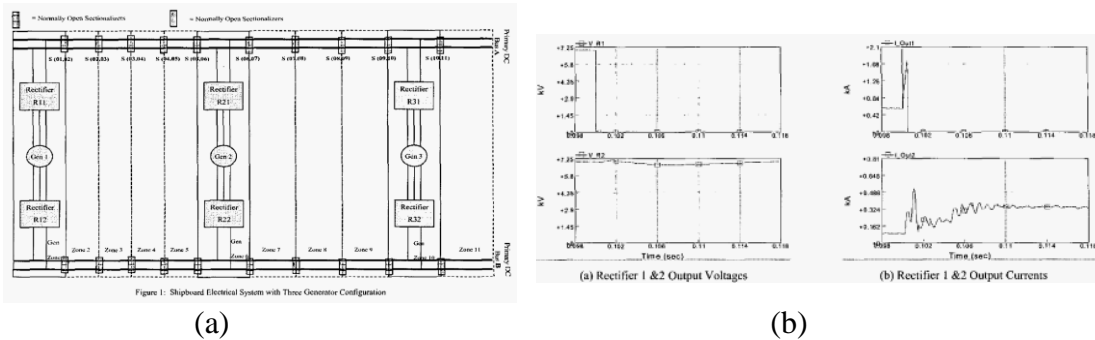
Apparatus	Removal (LT)	Install (LT)	Net Change (LT)
Foundations	3.3	4.3	+1.0
Power Cables	116.7	79.8	-36.9
Switchgear	20.8	20.0	-0.8
Total	140.8	104.1	-36.7

**Tabel 2. 3** Perbandingan biaya antara sistem konvensional dan sistem zonal (Ciezki & Ashton, 2000)

Apparatus	Conventional Material+Labor Total	Zonal Material+Labor Total
Foundations	34k	44k
Power Cables	4,151k	2,839k
SWBD+LC*	1,807k	1,736k
Total	5,992k	4,619k

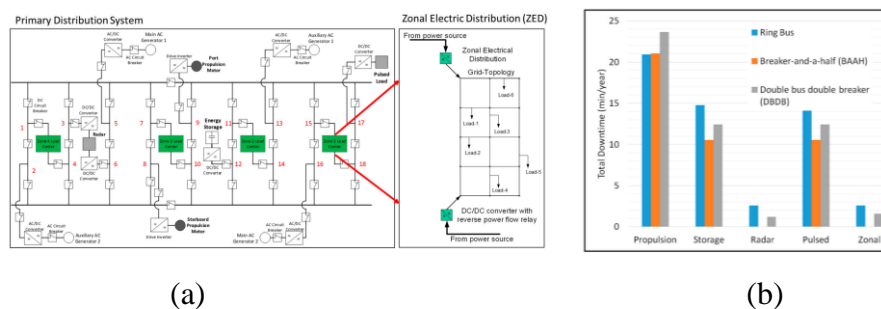
\*Switchboard and Load Centers

(Baran & Mahajan, 2013) melakukan penelitian rekonfigurasi sistem distribusi kapal dengan DC Zonal pada kapal perang. Studi lebih diarahkan kepada analisa converter, dan Output Power. Sistem direkonfigurasi dengan simulasi kegagalan pada kejadian kegagalan tertentu (pada main bus generator). Dari hasil penelitian didapatkan sistem distribusi dapat menyesuaikan tegangan dan frekuensi yang dibutuhkan (lihat Gambar 2.5).



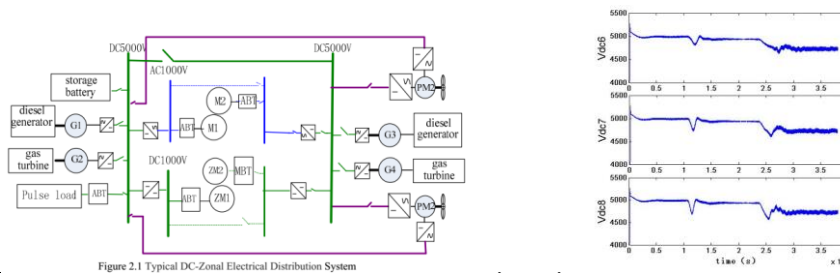
**Gambar 2. 5** (a) Konfigurasi sistem zonal untuk analisa konverter (b) Hasil analisa tegangan sistem zonal (Baran & Mahajan, 2013)

(Dubey & Santoso, 2016) melakukan penelitian rekonfigurasi dengan dua zonal dua tingkat. Pada umumnya sistem zonal dilakukan pada tingkat switchboard. Namun pada penelitian ini, zonasi dilakukan hingga tahap beban (khusus pada beban kritis). Output dari penelitian adalah *downtime* per year (lihat gambar 2.6).



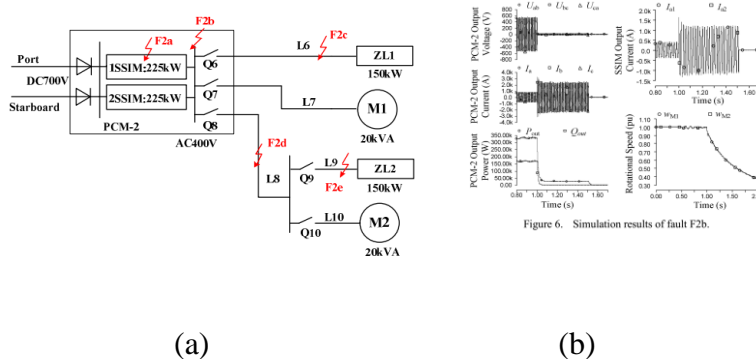
**Gambar 2. 6** (a) Rekonfigurasi zonal dua tingkat; (b) Perbandingan nilai interupsi (Dubey & Santoso, 2016)

(Wu, et al., 2012) melakukan penelitian mengenai karakteristik tegangan pada jaringan listrik DC Zonal Distribution dengan propulsi listrik akibat perubahan daya output dan akselerasi. Simulasi dilakukan dengan MATLAB/SIMULINK pada perubahan kecepatan 400r/m, 900r/m, dan 1300r/m (lihat gambar 2.7).



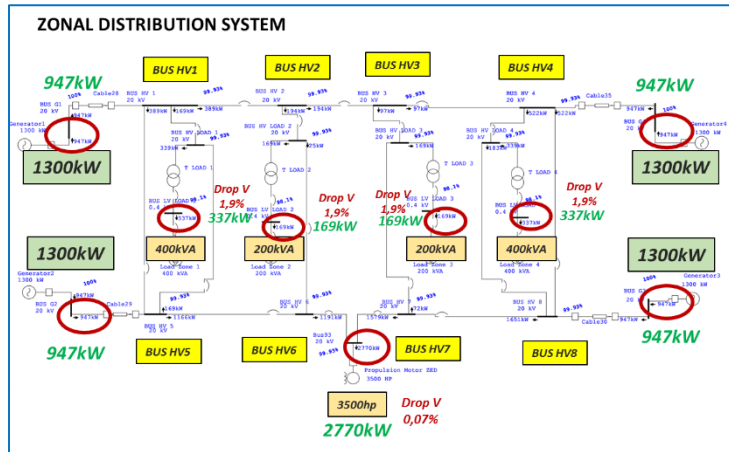
**Gambar 2. 7** Rekonfigurasi zonal untuk penelitian sistem propulsi; (b) Hasil simulasi stabilitas tegangan sistem (Wu, et al., 2012)

(Fei, et al., 2013) melakukan penelitian mengenai proteksi jaringan distribusi tegangan rendah AC pada kapal dengan sistem distribusi zonal dengan mengkonfigurasi circuit breaker. Dengan metode yang sama, dilakukan pada sistem distribusi zonal, dimana proteksi lebih difokuskan kepada power conversion modul (PCM) sebagai converter Generator AC ke DC. Kesimpulan : metode perhitungan proteksi untuk AC juga bisa diaplikasikan pada DC dan cukup efektif (lihat gambar 2.8).



**Gambar 2. 8** (a) Studi proteksi sistem zonal (b) Hasil simulasi sistem proteksi (Fei, et al., 2013)

(Cahyagi & Koenhardono, 2017) melakukan penelitian mengenai studi awal perbandingan antara sistem radial dan sistem zonal dan berkesimpulan sistem zonal memiliki drop tegangan lebih rendah dan kuat hantar arus yang lebih tinggi (lihat Gambar 2.9).



(a)

Item	Radial	Zonal
Total Installed Power	5,200 kW	5,200 kW
Total Supplied Power	3793 kW	3788 kW
Full Load Ampere Main Generator	85,8 A @20kVA	29,7 A @20kVA
Full Load Ampere Aux Generator	17,2A @20kVA	-
Full Load Ampere Trans Line	17,2A @20kVA	51,9A @20kVA
Load Factor Main Generator	89%	72,8%
Load Factor Auxiliary Generator	72,5%	-
Supplied Power on Propulsion Motor	2770 kW	2770 kW
Supplied Power on Load 200 kVA	169 kW	169 kW
Supplied Power on Load 400 kVA	338 kW	337 kW
Drop Voltage on Propulsion Motor	0,20%	0,07%
Drop Voltage on Load 200 kVA	1,53%	1,90%
Drop Voltage on Load 400 kVA	1,53%	1,90%
Number of Bus	> 7 busses	> 21 busses
Number of Transformator	1 unit at 1017 kW	4 unit at 339 kW

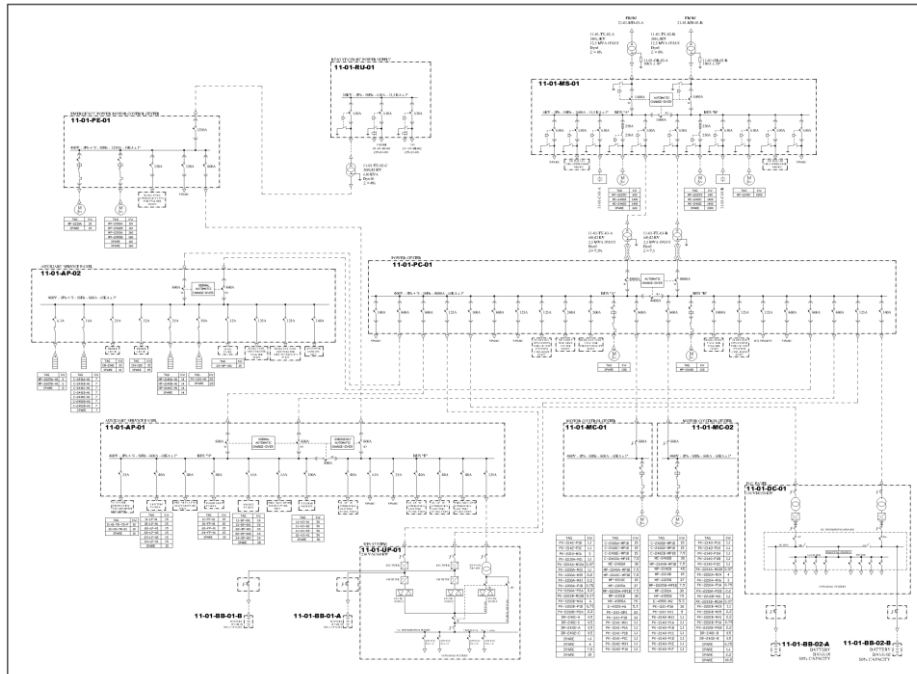
(b)

**Gambar 2.9** (a) Rekonfigurasi sistem zonal AC; (b) Hasil simulasi perbandingan sistem konvensional dan sistem zonal (Cahyagi & Koenhardono, 2017)

Penelitian mengenai perancangan sistem distribusi listrik dilakukan oleh Reza Vafamehr yang berjudul *Design of Electrical Power Supply System in an Oil and Gas refinery* (Vafamehr, 2011) (lihat gambar 2.10). Didalam tulisannya, penulis mendesain sistem kelistrikan untuk salah satu fasilitas migas di Iran. Desain yang dibuat diharapkan dapat terstandar. Proses desain dilakukan dengan menyesuaikan kuat hantar daya/arus pada masing – masing perangkat termasuk kabel, transformator, circuit breaker, dan lain – lain.

Sistem distribusi listrik pada fasilitas migas dimulai dengan preliminary single line diagram dengan topologi radial. Prosedur ini dapat dilakukan setelah mempersiapkan daftar daya yang akan disuplai, dan spesifikasi transformator. Sistem distribusi listrik didesain dengan tegangan jaringan 20kV dengan 12,5 MVA transformator yang menyediakan daya 6,3 kV. Sistem kelistrikan dikonfigurasi agar pada saat selalu beroperasi meskipun terjadi kegagalan pada sistem distribusi.

Sistem dilanjutkan dengan berbagai pendekatan diantaranya pendekatan kesetimbangan daya, aliran daya, hubungan pendek sistem kelistrikan. Bidang yang belum dibahas dari penelitian ini adalah inovasi, atau kontribusi sistem distribusi listrik kapal dari sektor perubahan sistem distribusi listrik yang dapat diberikan.

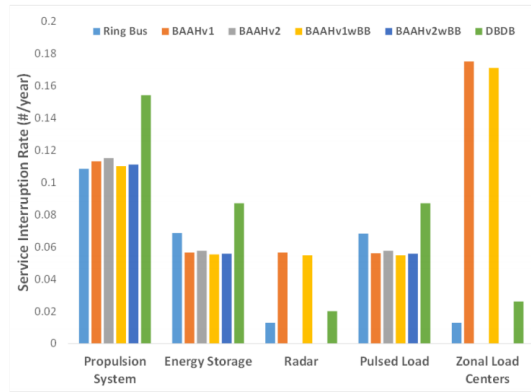


**Gambar 2. 10** Hasil desain single line perancangan sistem distribusi listrik (Vafamehr, 2011)

Penelitian yang dilakukan oleh Mckay Benjamin Steven yang berjudul *Designing Shipboard Electrical Distribution Systems for Optimal Reliability* (Stevens, et al., 2013) (lihat Gambar 2.11). Dalam penelitiannya, penulis merekonfigurasi sistem distribusi dengan beberapa jenis topologi, salah satunya dengan topologi zonal. Dari hasil rekonfigurasi didapatkan beberapa alternatif sistem distribusi listrik.

Pada penelitian ini, beberapa analisa dilakukan berkaitan dengan keandalan sistem distribusi. Analisa tersebut diantaranya nilai interupsi pertahun peralatan listrik, nilai *mean time to repair*, dan nilai *total down time*. Dari hasil analisa didapatkan bahwa rekonfigurasi sistem distribusi memberikan dampak yang baik dalam hal pengurangan nilai interupsi daya peralatan listrik. Bidang yang belum dibahas pada penelitian optimalisasi sistem distribusi listrik adalah analisa teknis rekonfigurasi untuk memastikan sistem distribusi beroperasi dengan baik, serta analisa manfaat dan biaya dari proses rekonfigurasi.





**Gambar 2. 11** Hasil perbandingan nilai interupsi pada penerapan rekonfigurasi sistem distribusi dengan topologi zonal (Stevens, et al., 2013)

Berdasarkan literature review yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa,

1. Penelitian aplikasi distribusi zonal di kapal banyak dianalisa, khususnya kapal perang.
2. Distribusi zonal memiliki durabilitas yang lebih baik dan keunggulan dari sisi operasional dibandingkan sistem radial.
3. Sistem distribusi zonal banyak diterapkan pada sistem distribusi DC, karena proses paralelisasi generator yang lebih mudah. Meskipun perlu dikonversi kembali menjadi sistem AC, bila menggunakan sistem propulsi listrik.
4. Penelitian mengenai sistem zonal lebih banyak berfokus pada desain radial atau zonal, analisa stabilitas tegangan dan frekuensi listrik, analisa kegagalan, dan analisa investasi.

## 2.5. Perancangan sistem distribusi listrik

### 2.5.1. Studi Keseimbangan Beban

Studi keseimbangan beban merupakan studi penataan ulang panel distribusi yang digunakan dan beban yang ada dibawahnya. Sedangkan perancangan *single line diagram* merupakan gambar teknik kelistrikan yang digunakan untuk menginformasikan peletakan beban dan pengkabelannya.

Studi keseimbangan beban dilakukan dengan pedoman perencanaan kelistrikan, khususnya pada kapal. Pedoman yang digunakan dalam penelitian perencanaan ulang sistem distribusi zonal ini adalah yang berasal dari Buku “*Shipboard Power System*” karya Mukund R. Patel (Patel, 2012), dan Buku “*Marine Electrical*” karya Sardono Sawito (Sarwito, 1995).

Dalam kedua karya tersebut dijelaskan bahwa spesifikasi generator yang dibutuhkan oleh kapal bergantung pada daya beban peralatan listrik dan mode operasinya. Masing – masing kapal niaga memiliki kebutuhan listrik yang berbeda, seperti kapal pesiar, kapal tanker, kapal kargo, kapal keruk, maupun kapal dengan mode operasi yang lain. Besaran spesifikasi generator bergantung pada nilai hasil studi kebutuhan listrik di kapal berdasarkan daya beban tertinggi dan waktu relatif pada setiap peralatannya (Patel, 2012) (Sarwito, 1995).

Beberapa beban kelistrikan pada kapal niaga terbagi dalam beberapa kelompok, diantaranya: (1) permesinan propulsi, (2) permesinan bantu, (3) permesinan bongkar muat, (4) permesinan geladak, (5) peralatan HVAC, (6) sistem kendali elektronik, (7) peralatan komunikasi, (8) shop load (beban peralatan kerja), dan (9) hotel load (beban akomodasi). Masing – masing beban pada kelompok tersebut mungkin memiliki daya dan memiliki pola pengoperasian yang berbeda. Tabel 2.4 menampilkan contoh forma tabel perhitungan kebutuhan generator di kapal.

Sebagai contoh, total daya generator yang dibutuhkan di laut / berlayar diberikan pada persamaan (2.1) (Patel, 2012) (Sarwito, 1995).

$$P_{at\ sea} = \sum kW_{wired} \cdot LF \quad \dots(2.1)$$

*Generator kW rating* merupakan daya maksimum yang dikalkulasikan pada persamaan (2.2).

$$P_{gen} = \text{Maximum of } \{P_{at\ sea}, P_{maneuver}, P_{inport-load}, P_{inport-unload}\} \quad \dots(2.2)$$

**Tabel 2. 4** Contoh format tabel perhitungan kebutuhan generator di kapal (Patel, 2012) & (Sarwito, 1995)

Shipboard Load Group	Wired kW (max Possible Draw)	At Sea Cruising at Full Speed		Maneuvering In and Out of Port		In Port Loading		In Port Unloading	
	kW <sub>wired</sub>	LF	kW <sub>gen</sub>	LF	kW <sub>gen</sub>	LF	kW <sub>gen</sub>	LF	kW <sub>gen</sub>
	1	2	1x2	3	1x3	4	1x4	5	1x5
Propulsion machinery									
Auxiliary machinery									
...									
$P = \square \square Kw_{gen}$ (sum of the column above)			Sum 1 P at sea		Sum 2 P maneu-ver		Sum 3 P inport-load		Sum 4 P inport-unload

Daya generator dan kVA dan penggerak dalam *horsepower* ditampilkan pada persamaan (2.3) dan (2.4).

$$\text{Generator kVA} = \frac{P_{\text{gen in kW}}}{\text{Power factor at generator terminals}} \quad \dots(2.3)$$

$$\text{Prime mover HP} = \frac{P_{\text{gen in kW}}}{0,746 \times \text{Generator efficiency}} \quad \dots(2.4)$$

Menambahkan 30% margin untuk penambahan atau beban yang tidak terduga pada saat tahap desain kapal ditampilkan pada persamaan. Pada desain terdahulu margin 10% cukup memadai (Patel, 2012).

Permesinan bongkar muat di pelabuhan selama proses bongkar umumnya membutuhkan daya yang paling besar, membuat  $P_{\text{inport-unload}}$  menjadi daya beban maksimum. Namun pendekatan ini membutuhkan analisa beban. Pada kapal dengan propeller, kapal yang sedang berlayar dapat menjadi daya maksimum.

Dalam melakukan desain sistem kelistrikan, beberapa ketentuan yang harus dipenuhi adalah (Patel, 2012),

- 1) Memilih konfigurasi daya dan tegangan optimum yang memenuhi sistem kelistrikan.
- 2) Melakukan analisa pembebanan untuk menentukan rating daya pada pembangkit listrik dalam satuan kW dan kVA, serta daya pada motor penggerak.
- 3) Melakukan desain sirkuit dari pembangkit hingga beban yang disuplai.
- 4) Menentukan besaran kabel yang dibutuhkan untuk membatasi tegangan jatuh (umumnya 3% - 5% dari tegangan pada keadaan *steady state*).
- 5) Menganalisa kegagalan dan menentukan peralatan pengaman.
- 6) Menentukan tipe sensor yang sesuai dan peletakan sistem monitoring distribusi.

#### 2.5.2. Pemilihan Unit Proteksi

Pemilihan unit proteksi pada sistem distribusi listrik bertujuan untuk menjaga agar proses suplai dan penggunaan daya dapat berjalan dengan baik. Terdapat beberapa parameter yang digunakan sebagai acuan dalam pemilihan unit proteksi. Parameter tersebut diantaranya adalah arus (*current*), tegangan (*voltage*), daya, temperatur, dan lain-lain. Meskipun secara praktis, arus (*current*) adalah parameter umum yang sering digunakan dalam pemilihan unit proteksi tersebut. Hal ini dikarenakan kegagalan dalam mengantisipasi kelebihan arus akan mudah terjadi hubungan pendek arus listrik yang dapat menyebabkan kebakaran.

Terdapat banyak unit proteksi yang harus dipilih dalam proses perancangan sistem distribusi listrik. Namun dalam thesis ini, unit proteksi yang akan dipilih adalah circuit breaker dan kabel distribusi.

a. Pemilihan *circuit breaker*

Seleksi, pemasangan, dan karakteristik performa dari perangkat proteksi arus berlebih (*overcurrent protection*) harus mendapatkan rekomendasi. Sistem harus mampu memberikan pelayanan proteksi dalam kondisi gagal selama kondisi tertentu. Sistem juga diharapkan mampu meminimalisir kegagalan pada peralatan listrik (IEEE, 2002).

Proteksi arus berlebih harus memiliki *high – speed clearance* terhadap kegagalan impedansi rendah pada sistem ac, dan kegagalan tahanan rendah pada sistem dc. Sistem proteksi dibutuhkan untuk menghindari kegagalan arus karena tingginya magnitude yang dapat menyebabkan kerusakan sistem, peralatan, dan bahaya lain (Biro Klasifikasi Indonesia, 2016) (Sarwito, et al., 2017). Peralatan proteksi arus berlebih juga diharapkan mampu melindungi peralatan listrik dan sirkuit dari kerusakan akibat kegagalan pada koordinasi kelistrikan, karakteristik termal, dan karakteristik pemutusan (*tripping*) pada peralatan proteksi (IEEE, 2002).

Berdasarkan besarnya arus kerja dan metode pemutusan jaringan, *circuit breaker* terdiri atas beberapa jenis. Diantaranya adalah MCB (*Miniatur Circuit Breaker*), MCCB (*Moulded Case Circuit Breaker*), ACB (*Air Circuit Breaker*), dan beberapa jenis yang lain. Detail rating arus pada *circuit breaker* ditampilkan pada Tabel 2.5

**Tabel 2. 5** Data rating circuit breaker

No	Unit Proteksi	Rating Arus (Rated Current) A		Instalasi
		Min	Max	
1	ACB ( <i>Air Circuit Breaker</i> )	630	4000	Transformer atau generator
2	MCCB ( <i>Moulded Case Circuit Breaker</i> )	100	1250	Transformer, generator, peralatan tegangan rendah
3	On load isolator switch	25	1250	Peralatan tegangan rendah
4	On load isolator switch with catridge fuse	25	1250	Peralatan tegangan rendah yang membutuhkan proteksi lokal
5	On load isolator switch without catridge fuse (Golongan MCB)	25	250	Peralatan tegangan rendah, dan beban turunan panel

Besarnya rating arus pada *circuit breaker* mengacu pada arus yang akan melalui suatu jaringan (IEEE, 2002). Oleh karena itu, perlu diperhatikan apakah sebuah beban listrik memiliki arus start. Untuk beban resistif seperti lampu dan pemanas, *circuit breaker* yang dipilih dapat memiliki rating 10 – 50 % dari arus nominal dari suatu peralatan.

Khusus untuk beban induktif seperti motor listrik, perhitungan kapasitas *circuit breaker* akan bergantung kepada perangkat starting yang digunakan. Apabila sebuah beban induktif menggunakan perangkat starting, maka *circuit breaker* yang digunakan adalah dua tingkat lebih tinggi dari arus motor (IEEE, 2002). *Circuit breaker* juga dijaga agar tidak melebihi dari 15 kali dari arus nominal.

Secara kalkulasi pemilihan *circuit breaker* dapat mengacu pada pedoman pengkawatan yang dikeluarkan oleh IEEE / Persamaan 2.5. (Locke, 2008).

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (2.5)$$

$I_b$  = arus pada jaringan

$I_n$  = arus pada unit proteksi

$I_z$  = kuat hantar arus pada konduktor pada saat instalasi

## 2.6. Studi aliran daya

Distribusi aliran daya merupakan alat atau metode yang sangat penting dalam analisa sistem distribusi listrik. Analisa dapat digunakan pada tahap desain maupun operational (Lin & Chen, 1986). Dalam otomasi sistem distribusi kelistrikan dan manajemennya, telah banyak aplikasi berbasis *real time* yang dapat memudahkan proses perencanaan dan monitoring. Mulai monitoring VAR, *switching*, dan estimasi yang lain yang membutuhkan analisa distribusi aliran daya.

Dalam beberapa sistem kelistrikan, pada umumnya sistem dibuat radial, distribusi tidak seimbang, memiliki cabang yang sangat banyak, dan rentang resistansi dan reaktansi yang sangat luas. Fitur ini akan membuat metode aliran daya terdahulu seperti Newton-Rapshon, dan Gauss Seidel memiliki kekurangan pada bagian simplisitas perhitungan yang berpengaruh pada penggunaan komputer dengan performa yang lebih tinggi dengan biaya lebih.

Beberapa usaha telah dilakukan peneliti untuk menyederhanakan perhitungan aliran daya. Scott dan Alsac (1974) telah melakukan beberapa analisa meskipun hasil yang didapatkan masih belum akurat. Beberapa usaha yang lain juga telah dilakukan oleh *Birt et al.* (1976), *Chen et al.* (1991a, 1991b), *chen and chang* (1992), dan *Teng and Lin* (1994), dengan berdasarkan topologi meshed pada sistem transmisi umum dan dapat diaplikasikan pada sistem distribusi. Dalam perkembangannya, riset mengenai studi aliran daya telah menghasilkan beberapa metode seperti *compensation-based technique* oleh *Shirmohammadi et al.* (1988) dimana forward-backward sweep algorithm diadopsi sebagai solusinya. Beberapa peneliti lain juga memberikan metodenya seperti *Luo and Smlyen* (1990) dengan *feeder breakpoint*, dan *Cheng and Shirmohammadi* (1994) dengan mengadopsi er-lateral based model.

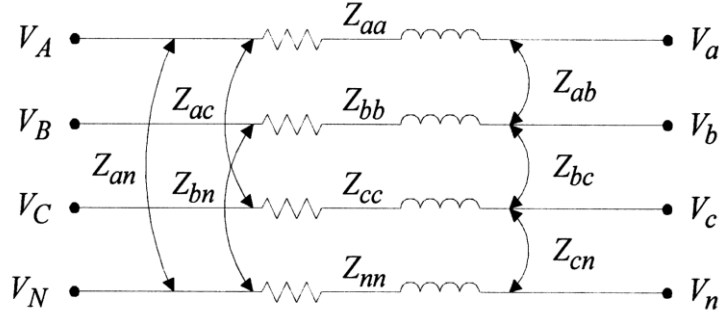
Metode aliran daya yang digunakan pada thesis ini adalah metode yang diperkenalkan oleh J.H. Teng dalam *paper A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions* (Teng, J.H., 2003). Metode ini menggunakan data bus-branch konvensional dan menyusunnya dalam bentuk matrix. Metode ini dipilih karena dapat menyelesaikan studi kasus dengan durasi proses yang lebih singkat dibandingkan dengan metode lain.

Dalam menentukan data jaringan, persamaan matriks yang digunakan adalah persamaan yang diperkenalkan oleh Carson (1926) (Persamaan 2.6).

$$\begin{bmatrix} Z_{abcn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{an} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bn} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cn} \\ Z_{na} & Z_{nb} & Z_{nc} & Z_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Untuk dsistem distribusi dengan *grounding* yang baik,  $V_N$  dan  $V_n$  ditampilkan pada Gambar 6.1 diasumsikan sama dengan nol, reduksi Kron's ditampilkan pada persamaan 2.7.

$$\begin{bmatrix} Z_{abc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa-n} & Z_{ab-n} & Z_{ac-n} \\ Z_{ba-n} & Z_{bb-n} & Z_{bc-n} \\ Z_{ca-n} & Z_{cb-n} & Z_{cc-n} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$



**Gambar 2. 12** Jaringan tiga fasa (Chen, et al., 1991)

Hubungan antara *bus voltage* dan *branch current* yang ditampilkan pada Gambar 2.12 dapat dimodelkan melalui pada persamaan 2.8.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{aa-n} & Z_{ab-n} & Z_{ac-n} \\ Z_{ba-n} & Z_{bb-n} & Z_{bc-n} \\ Z_{ca-n} & Z_{cb-n} & Z_{cc-n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{Aa} \\ I_{Bb} \\ I_{Cc} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Dalam melakukan analisa dengan a network-topology-based three-phase load flow, beberapa tahapan yang harus dilakukan adalah sebagai berikut.

#### 1. Membuat *Equivalent Current Injection*

Dalam sistem distrisbusi, model yang digunakan dalam perhitungan injeksi arus ekivalen (*Equivalent Current Injection*) didapatkan dari Shirmohammadi et al (1988), Chen et al (1991a) dan Teng and Lin (1994), karena lebih sesuai untuk digunakan. Pada setiap bus  $i$ , daya kompleks  $S_i$  didefinisikan pada persamaan 2.9

$$S_i = (P_i + jQ_i) \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (2.9)$$

Dan injeksi arus ekivalen (*Equivalent Current Injection*) pada iterasi ke  $k$ -th adalah (persamaan 2.10),

$$I_i^k = I_i^r (V_i^k) + JI_i^k (V) = \frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \Big)^* \quad (2.10)$$

Dimana,

$V_i^k$  merupakan node tegangan pada iterasi k-th

$I_i^k$  merupakan injeksi arus ekivalen pada iterasi k-th

$I_i^r$  dan  $I_i^i$  merupakan arus nyata dan imajiner dari injeksi arus ekivalen pada iterasi ke k-th, secara berurutan

## 2. Membuat algoritma untuk mengembangkan matrix

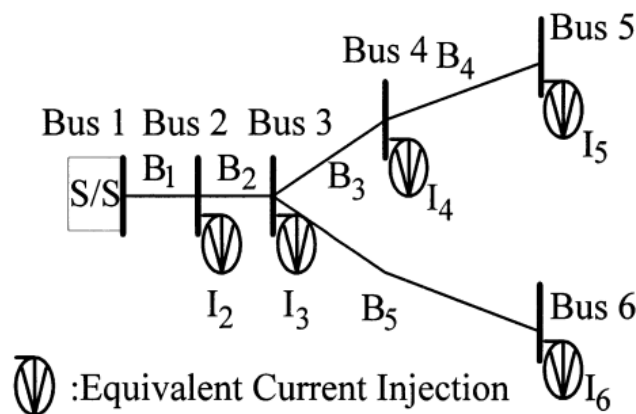
### a. *Bus-Injection to Branch-Current Matrix* (BIBC)

Gambar 2.13 akan dipergunakan sebagai sampel perhitungan. Injeksi daya pada injeksi arus ekivalen ditampilkan pada persamaan 2.11. yang diaplikasikan dengan hukum kirchoff. Setelah itu, *branch current* dapat diformulasikan dengan fungsi injeksi arus ekivalen. Sebagai contoh arus  $B_5$ ,  $B_3$ , dan  $B_1$  yang ditampilkan sebagai berikut.

$$B_5 = I_6,$$

$$B_3 = I_4 + I_5,$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 \quad (2.11)$$



**Gambar 2. 13** Sistem distribusi sederhana (Teng, J.H., 2003)



Lebih lanjut, Bus-Injection to Branch-Current Matrix (BIBC) dapat ditampilkan sebagai matriks persamaan 2.12a.

$$\begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I2 \\ I3 \\ I4 \\ I5 \\ I6 \end{bmatrix} \quad (2.12a)$$

Persamaan 2.12a dapat dibentuk menjadi persamaan umum yang ditampilkan pada 2.12b sebagai berikut

$$[B] = [BIBC] [I] \quad (2.12b)$$

Konstanta **BIBC** matriks tidak memiliki nilai Nol (0) dengan nilai +1. Dengan memperhatikan persamaan 2.12, maka didapatkan algoritma BIBC sebagai berikut,

Prosedur (1) – Untuk sistem distribusi dengan bagian n m-branch dan n-bus, dimensi matriks BIBC (m x n-1)

Prosedur (2) – Jika satu seksi line ( $B_k$ ) terletak antara Bus i dan Bus j, salin kolom bus i-th pada matriks BIBC menjadi kolom j-th dan tambahkan  $a + 1$  pada posisi baris pada bus k-th dan kolom pada bus j-th

Prosedur (3) – Ulangi prosedur (2) hingga semua seksi jaringan termasuk pada matriks **BIBC**

Algoritma mudah untuk diperpanjang untuk multi-fasa jaringan atau bus. Sebagai contoh, jika jaringan antara Bus  $i$  dan Bus  $j$  adalah jaringan tiga fasa, maka matriks  $B_i$  menjadi vektor 3x1, dan vektor +1 pada matrix **BIBC** akan menjadi 3-3.

b. Branch-Current to Bus-Voltage Matrix (BCBV)

Hubungan antara *branch current* dan *bus voltage* ditampilkan pada Gambar 2.13 yang disederhanakan dengan persamaan 2.11. Sebagai contoh, voltase bus 2, 3 dan 4 ditampilkan pada persamaan 2.13.

$$V_2 = V_2 - B_1 Z_{12}, \quad (2.13a)$$

$$V_3 = V_2 - B_2 Z_{23} \quad (2.13b)$$

$$V_4 = V_3 - B_3 Z_{34} \quad (2.13c)$$

Dimana  $V_i$  merupakan *bus voltage* dari Bus  $i$ , dan  $Z_{ij}$  merupakan impedansi jaringan antara Bus  $i$  dan Bus  $j$ . Substitusi antara persamaan (2.13) dapat ditulis dengan persamaan (2.14).

$$V_4 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34} \quad (2.14)$$

Dari persamaan (2.14) maka dapat diketahui bahwa *bus voltage* dapat dibuat sebagai fungsi *branch current*, parameter jaringan, dan substitusi tegangan. Prosedur yang sama dapat dilakukan pada bus yang lain. Branch-Current to Bus-Voltage Matrix (BCBV) ditampilkan dengan persamaan 2.15a.

$$\begin{bmatrix} V1 & V2 \\ V1 & V3 \\ V1 & - & V4 \\ V1 & V4 \\ V1 & V6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z12 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z12 & Z23 & 0 & 0 & 0 \\ Z12 & Z23 & Z34 & 0 & 0 \\ Z12 & Z23 & Z34 & Z45 & 0 \\ Z12 & Z23 & 0 & 0 & Z36 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{bmatrix} \quad (2.15a)$$

Persamaan 2.15a dapat didefinisikan ulang menjadi bentuk umum dan dituliskan pada persamaan 2.15b.

$$[\Delta V] = [BCBV] [B] \quad (2.15b)$$

Berdasarkan persamaan (2.15), pendefinisian algoritma untuk BCBV dapat dideskripsikan sebagai berikut,

Prosedur (4) – untuk distribusi sistem dengan  $m$ -branch dan  $n$ -bus, dimensi matriks BCBV adalah  $(n-1) \times m$ .

Prosedur (5) – Jika pada seksi jaringan ( $B_k$ ) ditempatkan pada Bus  $i$  dan Bus  $j$ , salin baris dari  $i$ -th bus dari matriks BCBV menjadi baris pada  $j$ -th bus, dan isi data jaringan impedansi ( $Z_{ij}$ ) pada posisi baris  $j$ -th bus dan kolom bus  $k$ -th

Prosedur (6) – Ulangi prosedur (5) hingga semua seksi jaringan termasuk dalam matriks BCBV.

c. Proses studi aliran daya

Matriks BIBC dan BCBV yang telah didefinisikan berdasarkan struktur topologi dalam sistem distribusi. Matriks BIBC dikembangkan berkaitan dengan *bus current injection* dan *branch current*. Variasi arus jaringan yang terjadi akibat bus yang terinjeksi arus dapat ditemukan dengan matriks BIBC. Matriks BCBV memiliki keterkaitan dengan arus jaringan dan tegangan bus. Variasi tegangan bus dapat ditemukan dengan matriks tersebut. Kombinasi antara BIBC (persamaan 2.12) dan BCBV (persamaan 2.15) dapat didefinisikan menjadi persamaan 2.16.

$$\begin{aligned} [\Delta V] &= [BCBV] [BIBC] [I] \\ &= [DLF] [I], \end{aligned} \quad (2.16)$$

Aliran daya dari sistem distribusi dapat ditemukan dengan menyelesaikan persamaan 2.17 secara iterasi.

$$I_i^k = I_i^r (V_i^k) + JI_i^k (V) = \frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \Big)^* \quad (2.17a)$$

$$[\Delta V_i^{k+1}] = [DLF] [I^k] \quad (2.17b)$$

Dibandingkan dengan metode aliran daya *Newton Rapshon* dan *Gauss implicit Z matrix*, yang membutuhkan dekomposisi LU, dan substitusi *forward backward* tidak

digunakan pada metode Network Topology. Metode ini menggunakan matriks DLF untuk menyelesaikan definisi aliran daya.

Metode Network Topology apabila dipersingkat maka dapat dideskripsikan sebagai berikut,

- 1) Input data jaringan
- 2) Gunakan prosedur (1), (2), (3), dan persamaan (2.12) untuk membentuk matriks BIBC.
- 3) Gunakan prosedur (4), (5), (6), dan persamaan (2.15) untuk membentuk matriks BCBV.
- 4) Gunakan persamaan (2.16) untuk membentuk DLF
- 5) Iterasi  $k = 0$
- 6) Iterasi  $k = k + 1$
- 7) Selesaikan studi aliran daya dengan persamaan (2.17), dan perbaharui tegangannya.
- 8) Jika  $\frac{\max}{i} (|I_i^{k+1}| - |I_i^k|) > \text{toleransi}$ , maka ulangi tahap 6)
- 9) Selesai

## 2.7. Analisa estimasi biaya kelistrikan

Menurut (Amos, 2004) *cost* atau biaya merupakan alat mendasar dimana sebuah aktifitas maupun aset diukur dan dibandingkan satu sama lain. Hal ini dikarenakan kata “*cost*” sudah sangat umum dan biasa digunakan berkaitan dengan nilai. Biaya merupakan satu dari tiga atribut dasar dalam sebuah kegiatan atau aset. Ketiga atribut tersebut adalah (1) biaya, (2) performa, dan (3) ketersediaan.

Biaya sendiri memiliki setidaknya tiga kategori utama yaitu *material*, *labour*, dan lain lain. Biaya material merupakan komposisi fisik pada aset. Meskipun demikian ada beberapa bagian yang tertinggal pada saat proses pabrikasi. Biaya pengerjaan (*labour*) merupakan biaya kerja untuk menyelesaikan sebuah aktifitas atau aset. Biaya lain-lain dapat didefinisikan sebagai sumber daya yang diperlukan untuk melakukan aktifitas seperti alat, sumber listrik, pajak, dan perawatan.

Estimasi biaya pada sistem distribusi listrik dapat mengacu pada beberapa referensi. Referensi tersebut diantaranya, IEEE Standard 141, NUREG / CR-4568, dan Standar AACE International. IEEE Standard 141 merupakan rekomendasi praktis untuk distribusi daya listrik pada pembangkit industri. NUREG / CR-4568 merupakan metode estimasi biaya yang digunakan pada pembangkit nuklir. Sedangkan AACE International melalui buku *skills & knowledge of cost engineering* membahas pembiayaan secara umum di bidang rekayasa.

Menurut IEEE Standard 141 bagian 16 mengenai estimasi biaya (IEEE , 1993), estimasi biaya dapat dimanfaatkan untuk keperluan permodalan atau menentukan layak atau tidaknya sebuah kegiatan atau aset. Biaya kapital dari sistem tenaga listrik merupakan penjumlahan dari biaya peralaan dan material, biaya instalasi, dan biaya lainnya yang mempengaruhi persiapan sistem. Estimasi biaya akan digunakan oleh banyak orang, oleh karena itu estimator harus mampu mengidentifikasi secara jelas. Saat mengembangkan sebuah estimasi, estimator akan memiliki waktu dan informasi yang terbatas, oleh karena itu melakukan asumsi dapat dilakukan.

Estimasi biaya dapat diklasifikasikan kedalam tiga klas, diantaranya *preliminary estimate*, *engineering estimate*, dan *detailed estimate*. Ketiga klasifikasi tersebut memiliki perbedaan dari sisi akurasi, serta waktu yang dibutuhkan untuk melakukan estimasi tersebut. Klasifikasi estimasi dapat dilihat pada Tabel 2.6.

*Preliminary estimate* merupakan pendekatan yang digunakan untuk mengetahui biaya investasi sistem dalam tahap studi. Biaya studi termasuk biaya dalam penerapan sistem baru, lokasi baru, teknologi baru, konsep desain baru, produktifitas yang berbeda, dan penggantian peralatan dan tenaga kerja. Pada umumnya, biaya kegiatan akan berada di kisaran dari 15% dibawah hingga 40% diatas *preliminary estimate*.

*Engineering estimate* membutuhkan one-line diagram, dan pengetahuan yang baik pada tahap instalasi akhir termasuk layout, dan daftar peralatan yang digunakan. Biaya yang didapatkan harus didapatkan dari vendor atau dari pembelian sebelumnya, dan kegiatan yang telah dilakukan seperti biaya material, dan instalasi. Biaya kegiatan sebenarnya berada dikisaran 10% dibawah hingga 20% diatas *engineering estimate*.

Dalam beberapa kasus, *detailed estimate* dilakukan oleh estimator yang berpengalaman dalam hal prosedur dan estimasi. Seringkali dibutuhkan konfirmasi tertulis dari vendor. Estimasi ini termasuk perhitungan untuk detail material yang dibutuhkan untuk proses tawar – menawar. *Detailed estimate* harus berada pada kisaran +5 – 10% dari biaya aslinya.

**Tabel 2. 6** Klasifikasi estimasi biaya menurut IEEE Standard 141 (*IEEE , 1993*)

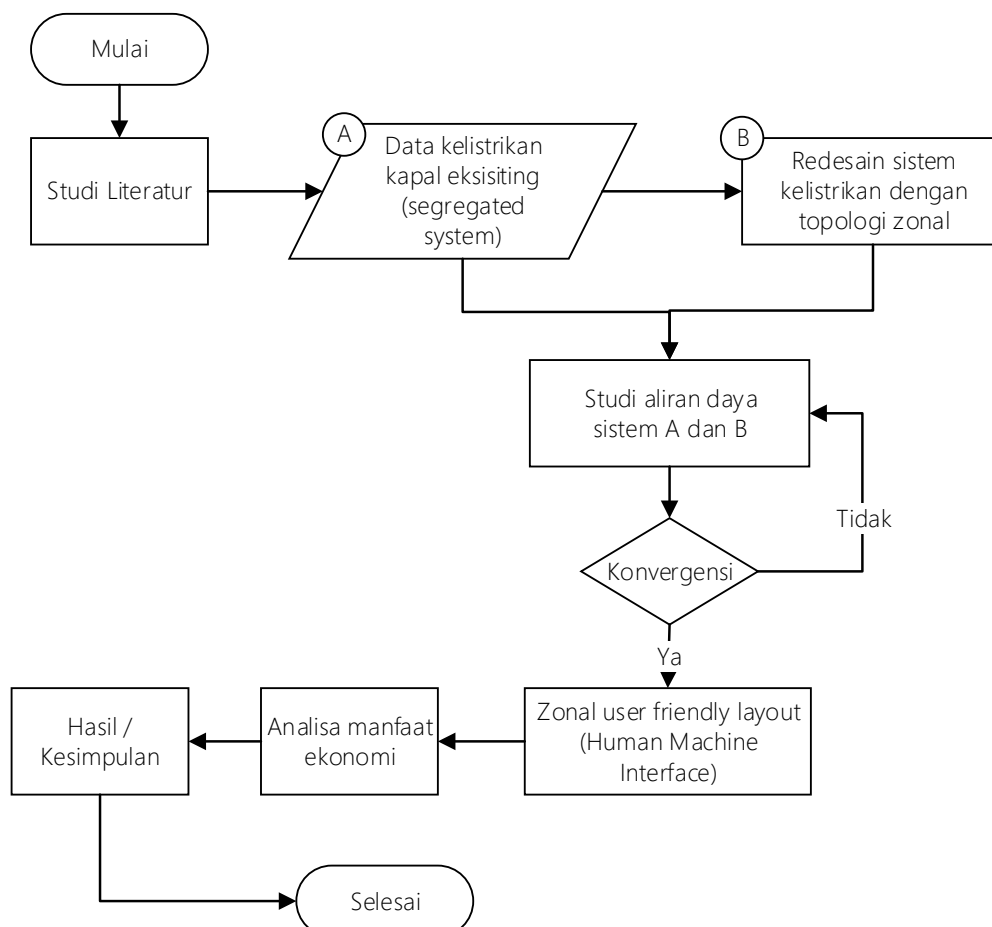
No	Klasifikasi estimasi	Akurasi Biaya	Data yang dibutuhkan	Estimator
1.	<i>Preliminary Estimate</i>	-15 % hingga +40%	Biaya pada pembangunan terdahulu, Konsep baru yang ingin diaplikasikan	Estimator dalam tahap studi awal
2.	<i>Engineering Estimate</i>	-10% hingga +20%	Daftar harga dari vendor atau pada pembelian sebelumnya, One line diagram,	Estimator dalam tahap pengerjaan one line diagram
3.	<i>Detailed Estimate</i>	+5% hingga +10%	Konfirmasi tertulis mengenai harga dari vendor, <i>Detail Drawing</i>	Esimator berpengalaman dan mengerti detail sistem.

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Metode penelitian

Metode penelitian redesain sistem distribusi listrik kapal dengan topologi zonal didasari oleh penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Dua penelitian utama yang mendasari thesis ini adalah penelitian yang dilakukan oleh Mckay Benjamin Steven yang berjudul *Designing Shipboard Electrical Distribution Systems for Optimal Reliability* (Stevens, et al., 2013), penelitian yang dilakukan oleh Reza Vafamehr yang berjudul *Design of Electrical Power Supply System in an Oil and Gas refinery* (Vafamehr, 2011), studi aliran daya dengan *Network Topology Based* oleh J.H. Teng (Teng, J.H., 2003), serta analisa biaya dari IEEE (IEEE , 1993). Gambar 3.1 menunjukkan metode penelitian redesain sistem distribusi listrik kapal dengan topologi zonal.



**Gambar 3. 1** Metode penelitian rekonfigurasi redesain sistem ditribusi listrik kapal dengan topologi zonal

## 3.2. Prosedur penelitian

### 3.2.1. Studi literatur

Tahapan awal dalam proses penelitian rekonfigurasi sistem distribusi kapal dengan topologi zonal adalah melakukan studi literatur. Studi literatur terdiri atas proses penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mulai dari pengumpulan data hingga proses redesain.

### 3.2.2. Penentuan studi kasus dan pengumpulan data

Penentuan studi kasus merupakan proses telaah terhadap desain sistem distribusi listrik pada kapal yang ada, guna memastikan sistem radial yang dipergunakan. Sistem yang ada akan di simulasi dengan menggunakan sebuah software untuk mendapatkan performansi awal.

### 3.2.3. Redesain sistem

Tahap ini merupakan prosedur *re-design* atau penggambaran ulang sistem distribusi. Sistem konvensional direkonfigurasi menjadi sistem dengan topologi zonal. Penggambaran ulang dilakukan dengan memperhatikan peraturan yang berlaku pada badan klasifikasi tertentu. Output dari rekonfigurasi sistem adalah *single line diagram*, daftar perangkat yang akan digunakan, beserta spesifikasinya.

### 3.2.4. Analisa aliran daya

Analisa aliran daya metode yang bertujuan untuk mengamati karakteristik sistem distribusi sebuah jaringan listrik. Proses analisa aliran daya dilakukan dengan iterasi. Beberapa metode yang umum digunakan untuk menganalisa aliran daya adalah Newton Rhapson, Implicit Z-Bus Method, Modified Gauss-Siedel Method, Forward-Backward Sweep Method, dan Network Topology Based Method. Metode analisa aliran daya yang digunakan pada penelitian ini adalah Network Topology Based Method. (IEEE Std C37.106, 2003) (IEEE Vol.19 No.2, 2004) (P. Kundur, 1994).

### 3.2.5. User friendly layout

*User friendly layout* merupakan tampilan yang dikembangkan untuk memonitor studi aliran daya. Dalam pengoperasiannya, *user friendly layout* akan disesuaikan dengan kapal yang memiliki beberapa mode. Beberapa mode operasi kapal diantaranya, manuvering, bersandar di dermaga, bongkar muat, berlayar, hingga melakukan kegiatan kerja tertentu, dan saat kondisi darurat. Tampilan *user friendly layout* dapat mensimulasikan pengaturan beban yang



disambungkan dan beban yang dilepas sesuai dengan mode operasi kapal tersebut. simulasi bertujuan untuk mengamati karakteristik pembebanan dari peralatan di kapal. Selanjutnya karakteristik ini dapat digunakan untuk mengatur kerja dari generator.

#### *3.2.6. Analisa manfaat dan biaya*

Analisa manfaat dan biaya bertujuan untuk memprediksikan biaya dari implementasi sistem distribusi zonal dibandingkan dengan sistem eksisiting. Selain itu, analisa juga membahas manfaat yang didapatkan. Kemudian antara manfaat dan biaya dianalisa satu sama lain untuk mengetahui sejauh mana manfaat yang didapatkan dari biaya yang telah dikeluarkan. Metode yang digunakan adalah metode cashflow. Dikarenakan kapal yang diteliti merupakan kapal khusus, maka aliran biaya yang dihitung hanya biaya pengeluaran investasi dan biaya operasional.

#### *3.2.7. Kesimpulan*

Dari penelitian dapat dikembangkan sebuah kesimpulan bahwa rekonfigurasi sistem distribusi listrik kapal dengan topologi zonal memberikan keunggulan disektor keandalan dan finansial. Hasil dari kesimpulan dapat dijadikan sebuah rekomendasi pada pemilik kapal, galangan, maupun stakeholders lain dalam mengembangkan sistem topologi zonal.

### **3.3. Data Kapal Eksisiting**

#### *3.3.1. Dimensi umum*

Data kapal yang digunakan pada pengerjaan thesis ini adalah kapal dengan distribusi terpisah (*segregated system*). Namun untuk alasan khusus, nama dan pemilik kapal tidak akan dipublikasikan. Adapun informasi dan data mengenai kapal yang dijadikan bahan penelitian adalah sebagai berikut.

Kapal yang menjadi bahan penelitian dalam thesis ini adalah sebagai berikut,

Panjang seluruhnya (L.O.A)	: <b>60</b>	m
Panjang antara garis tegak (L.P.P)	: <b>54</b>	m
Lebar ( <i>Moulded</i> )	: <b>12</b>	m
Tinggi ( <i>Depth</i> )	: <b>4,7</b>	m
Sarat air ( <i>Draught</i> )	: <b>3,5</b>	m
Kecepatan maksimal	: <b>15</b>	knot
Daya mesin utama	: <b>2 x 2750</b>	kW
Daya generator	: <b>2 x 300 KVA; 1 x 45 KVA</b>	( <i>emergency</i> )
Akomodasi awak kapal	: <b>39</b>	orang
Material Lambung	: <b>Baja</b>	

### 3.3.2. Data beban kelisrikan kapal

Kapal kajian memiliki 20 unit busbar yang bekerja sebagai bagian dari sistem distribusi listriknya. Busbar terdiri atas Gen 1 Bus, Gen 2 Bus, Sync Bus, MSB, ESB, Galley Bus, DBLM Bus, DBLN Bus, Batt Load Bus, DBLU Bus, Radio Bus, Nav Eq 03 Bus, Navcom Bus, DBLB Bus, DBCN Bus, DBCU Bus, Nav Eq 01 Bus, DBNL Bus, Nav Eq 02 Bus, dan Gen Emg Bus.

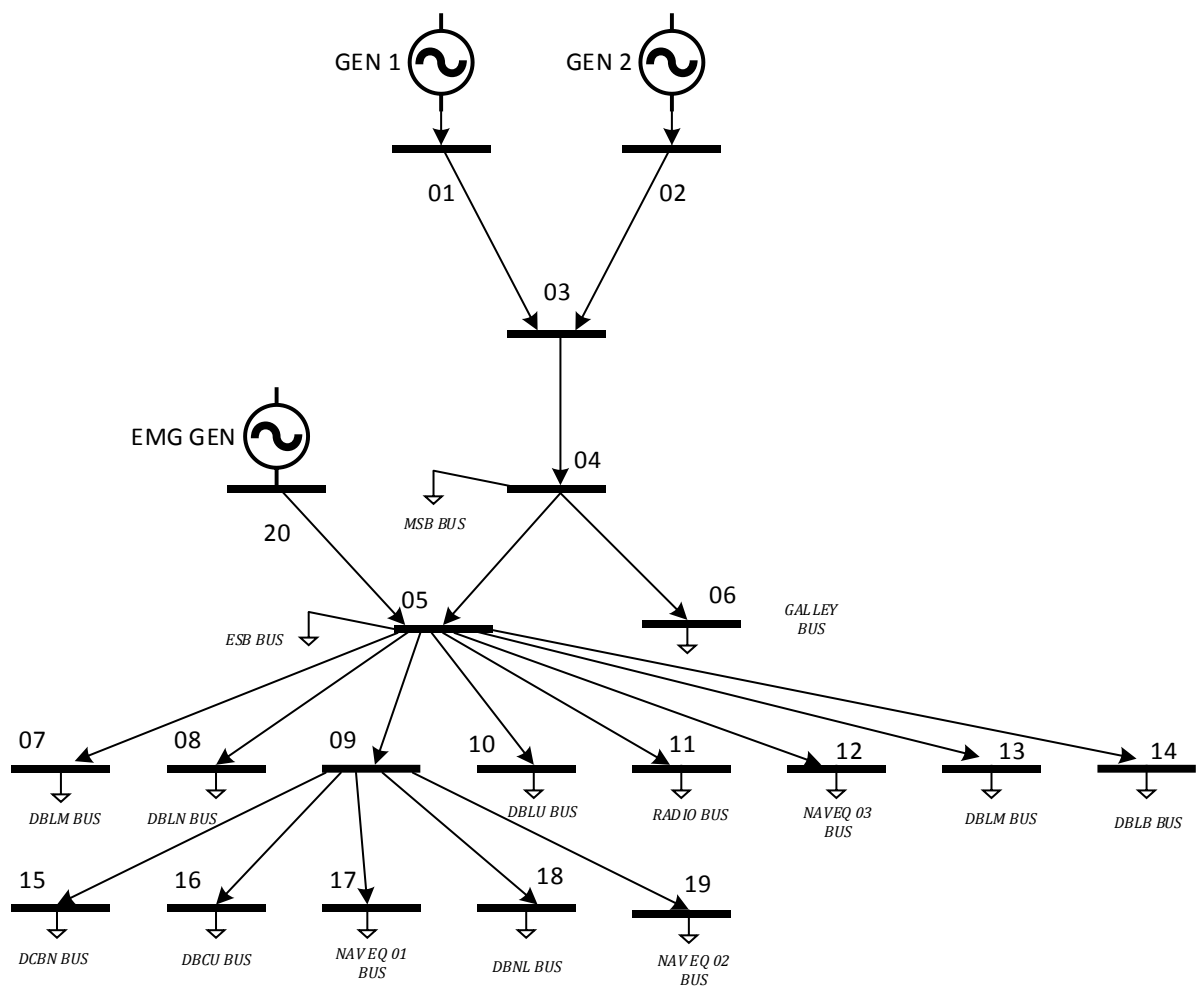
Adapun konfigurasi masing – masing busbar pada kapal kajian digambarkan sebagai pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.

#### 1) Informasi Data Generator

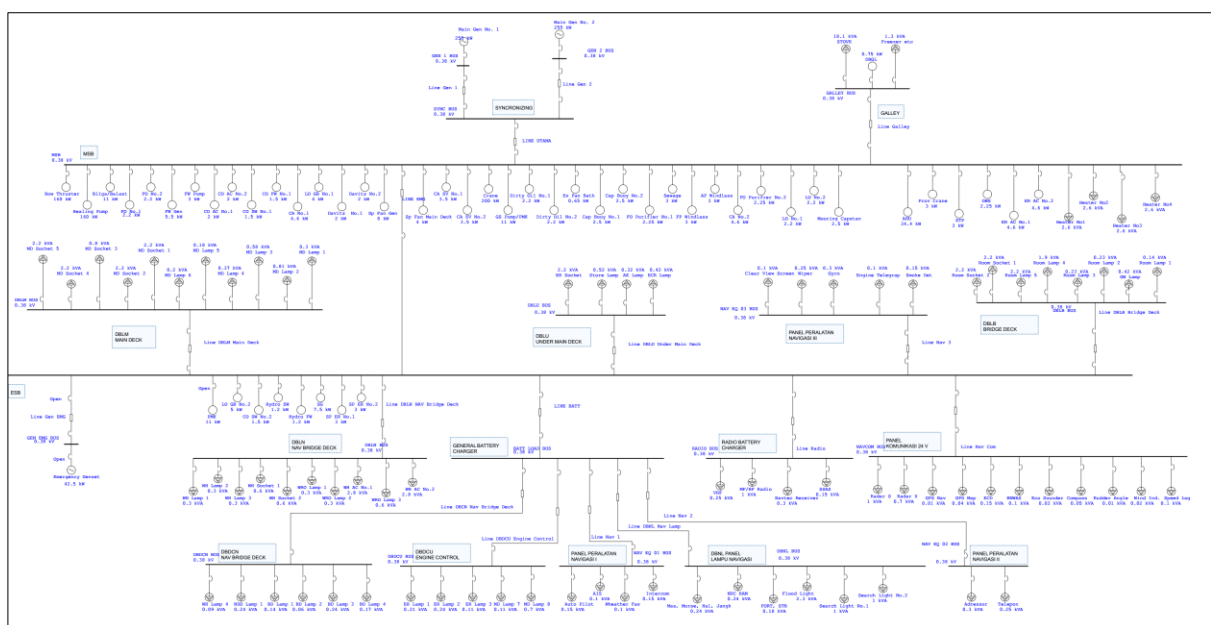
Kapal yang diteliti memiliki pembangkit daya listrik Diesel Generator (DG) (Lihat Tabel 3.1). Diesel generator terdiri atas dua generator utama, dan satu diesel generator darurat. Dua generator utama memiliki kapasitas 300 KVA. Sedangkan generator darurat memiliki kapasitas 45KVA. Generator memiliki tipe generator tiga fasa dengan tegangan bangkit 380 V; 50 Hz.

**Tabel 3. 1** Informasi data generator

No.	NAME	ID	TYPE	POWER	VOLTAGE
1	MAIN GENERATOR I	GEN 1	DIESEL GENERATOR	300 KVA	380 V
2	MAIN GENERATOR II	GEN 2	DIESEL GENERATOR	300 KVA	380 V
3	EMERGENCY GENERATOR	EMG GEN	DIESEL GENERATOR	45 KVA	380 V



**Gambar 3. 2** Konfigurasi busbar pada kapal kajian



**Gambar 3. 3** Single line diagram kapal eksisting

## 2) Main Switch Board Bus

*Main Switch Board Bus* (MSB) merupakan busbar pembebanan utama yang mendapatkan sumber langsung dari generator. Busbar ini melayani beban peralatan dan beberapa busbar turunannya. Rincian beban peralatan listrik, dan busbar ditampilkan pada Tabel 3.2.

**Tabel 3. 2** Rincian beban *Main Switch Board* (MSB)

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	MSB	ESB	BUS	-	-
2	MSB	GALEY	BUS	-	-
3	MSB	BOW THRUSTER	IND. MOTOR	160	kW
4	MSB	HEALING PUMP	IND. MOTOR	160	kW
5	MSB	BILGE / BALAST	IND. MOTOR	11	kW
6	MSB	FO NO. 1	IND. MOTOR	2,2	kW
7	MSB	FO NO. 2	IND. MOTOR	2,2	kW
8	MSB	FW GEN	IND. MOTOR	5,5	kW
9	MSB	FW PUMP	IND. MOTOR	3	kW
10	MSB	CO AC NO. 1	IND. MOTOR	2	kW
11	MSB	CO AC NO. 2	IND. MOTOR	2	kW
12	MSB	CO SW NO. 1	IND. MOTOR	1,5	kW
13	MSB	CO FW NO. 1	IND. MOTOR	1,5	kW
14	MSB	CA NO. 1	IND. MOTOR	4,6	kW
15	MSB	LO GB NO. 1	IND. MOTOR	4	kW
16	MSB	DAVITS NO. 1	IND. MOTOR	2	kW
17	MSB	DAVITS NO. 2	IND. MOTOR	2	kW
18	MSB	SP FAN GEN	IND. MOTOR	8	kW
19	MSB	CA SV NO. 1	IND. MOTOR	3,5	kW
20	MSB	CA SV NO. 2	IND. MOTOR	3,5	kW
21	MSB	CRANE	IND. MOTOR	200	kW
22	MSB	GS PUMP / PMK	IND. MOTOR	11	kW
23	MSB	DIRTY OIL NO. 1	IND. MOTOR	2,2	kW
24	MSB	DIRTY OIL NO. 2	IND. MOTOR	2,2	kW
25	MSB	EX FAN BATH	IND. MOTOR	0,65	kW
26	MSB	CAP BUOY NO. 1	IND. MOTOR	2,5	kW
27	MSB	CAP BUOY NO. 2	IND. MOTOR	2,5	kW
28	MSB	FO PURIFIER NO. 1	IND. MOTOR	2,25	kW
29	MSB	SEWAGE PUMP	IND. MOTOR	3	kW
30	MSB	FP WINDLASS	IND. MOTOR	3	kW
31	MSB	AP WINDLASS	IND. MOTOR	3	kW
32	MSB	CA NO. 2	IND. MOTOR	4,6	kW
33	MSB	FO PURIFIER NO. 2	IND. MOTOR	2,25	kW
34	MSB	LO NO. 1	IND. MOTOR	2,2	kW
35	MSB	LO NO. 2	IND. MOTOR	2,2	kW
36	MSB	MOORING CAPSTAN	IND. MOTOR	2,5	kW
37	MSB	AHU	IND. MOTOR	34,4	kW
38	MSB	PROV CRANE	IND. MOTOR	3	kW
39	MSB	STP	IND. MOTOR	3	kW
40	MSB	OWS	IND. MOTOR	2,25	kW
41	MSB	ER AC NO. 1	IND. MOTOR	4,6	kW
42	MSB	ER AC NO. 2	IND. MOTOR	4,6	kW
43	MSB	HEATER NO. 1	RESISTIVE	2,6	kW
44	MSB	HEATER NO. 2	RESISTIVE	2,6	kW
45	MSB	HEATER NO. 3	RESISTIVE	2,6	kW
46	MSB	HEATER NO. 4	RESISTIVE	2,6	kW

## 3) Galley Bus

*Galley Bus* merupakan busbar yang mendistribusikan daya untuk kepentingan peralatan yang ada di galley. Adapun beban listrik yang terdapat di *Galley Bus* adalah *stove*, dan *freezer*. Data beban pada galley bus dapat dilihat pada tabel 3.3.

**Tabel 3. 3** Rincian beban *Galley Bus*

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	GALEY BUS	STOVE	RESISTIVE	18,1	kVA
2	GALEY BUS	DBGL	LUMP	0,75	kW
3	GALEY BUS	FREEZER	IND. MOTOR	1,3	kVA

#### 4) Emergency Switch Board (ESB)

*Emergency Switch Board* (ESB) atau panel darurat merupakan panel distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan dan membagi daya dari sumber listrik dikapal. ESB memiliki fungsi vital dalam proses pendistribusian dayanya. Hal ini dikarenakan ESB menghimpun beban – beban darurat, dan sumber daya listrik ESB dapat berasal dari generator utama atau generator darurat. Saat generator utama dalam keadaan service, beban yang terhubung dengan ESB akan disuplai dengan generator utama. Namun apabila generator sedang dalam permasalahan tertentu, suplai daya akan bersumber dari generator darurat. Adapun beberapa daya yang terhubung melalui ESB adalah pompa pemadam kebakaran, *steering gear*, dan peralatan navigasi. Beban yang terhimpun pada ESB dapat dilihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3. 4** Rincian beban *Emergency Switch Board* (ESB)

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	ESB	DBLM BUS	BUS	-	-
2	ESB	DBLN BUS	BUS	-	-
3	ESB	BATT LOAD BUS	BUS	-	-
4	ESB	DBLU BUS	BUS	-	-
5	ESB	RADIO BUS	BUS	-	-
6	ESB	NAV EQ 03 BUS	BUS	-	-
7	ESB	NAVCOM BUS	BUS	-	-
8	ESB	DBLB BUS	BUS	-	-
9	ESB	PMK	IND. MOTOR	11	kW
10	ESB	LO GB NO. 2	IND. MOTOR	5	kW
11	ESB	CO SW NO. 2	IND. MOTOR	1,5	kW
12	ESB	HYDRO SW	IND. MOTOR	1,2	kW
13	ESB	HYDRO FW	IND. MOTOR	1,2	kW
14	ESB	STEERING GEAR	IND. MOTOR	7,5	kW
15	ESB	SP ER NO. 1	IND. MOTOR	3	kW
16	ESB	SP ER NO. 2	IND. MOTOR	3	kW

#### 5) Bus DBLM

Bus DBLM merupakan bus turunan dari Panel ESB. Secara umum, beban yang berada dibawah Bus DBLM terdiri atas Socket dan Lampu. Rincian beban Bus DBLM dapat dilihat di Tabel 3.5.

**Tabel 3. 5** Rincian beban Bus DBLM

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	DBLM BUS	MD SOCKET 1	LUMP	2,2	kVA
2	DBLM BUS	MD SOCKET 2	LUMP	2,2	kVA
3	DBLM BUS	MD SOCKET 3	LUMP	0,8	kVA
4	DBLM BUS	MD SOCKET 4	LUMP	2,2	kVA
5	DBLM BUS	MD SOCKET 5	LUMP	2,2	kVA
6	DBLM BUS	MD LAMP 1	LIGHTING	0,3	kVA
7	DBLM BUS	MD LAMP 2	LIGHTING	0,81	kVA
8	DBLM BUS	MD LAMP 3	LIGHTING	0,58	kVA
9	DBLM BUS	MD LAMP 4	LIGHTING	0,37	kVA
10	DBLM BUS	MD LAMP 5	LIGHTING	0,18	kVA
11	DBLM BUS	MD LAMP 6	LIGHTING	0,2	kVA

## 6) Batt Load Bus

Batt Load Bus merupakan bus turunan yang menghubungkan ESB dengan bus yang ada dibawahnya. Batt load bus memiliki sirkuit baterai sebagai daya cadangan untuk tetap menjaga peralatan yang diharuskan dalam keadaan service. Data bus yang terhimpun dalam batt load bus ditampilkan pada Tabel 3.6

**Tabel 3. 6** Batt Load Bus

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	BATT LOAD BUS	DBDCN BUS	BUS	-	-
2	BATT LOAD BUS	DBDCU BUS	BUS	-	-
3	BATT LOAD BUS	NAV EQ 01 BUS	BUS	-	-
4	BATT LOAD BUS	DBNL BUS	BUS	-	-
5	BATT LOAD BUS	NAV EQ 02 BUS	BUS	-	-

## 7) Bus DBDCN

Bus DBDCN merupakan bus turunan dari Batt Load Bus yang menyuplai daya dari sumber menuju beban yang dihipunnya. Bus DBDCN dapat menerima sumber dari MSB, ESB, maupun baterai. Adapun beban yang ada dibawah Bus DBDCN adalah penerangan di Wheel House, Bridge Deck, dan Kamar Mesin. Data Bus DBDCN ditampilkan pada Tabel 3.7.

**Tabel 3. 7** Bus DBDCN

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	DBDCN BUS	WH LAMP 4	LIGHTING	0,09	kVA
2	DBDCN BUS	NDO LAMP 1	LIGHTING	0,24	kVA
3	DBDCN BUS	BD LAMP 1	LIGHTING	0,14	kVA
4	DBDCN BUS	BD LAMP 2	LIGHTING	0,06	kVA
5	DBDCN BUS	BD LAMP 3	LIGHTING	0,24	kVA
6	DBDCN BUS	BD LAMP 4	LIGHTING	0,17	kVA

## 8) Bus DBDCU

Bus DBDCU merupakan bus turunan dari Batt Load Bus. Secara umum, beban yang dihipun pada bus ini adalah beban penerangan di area main deck dan kamar mesin. Data Bus DBDCU dapat dilihat pada tabel 3.8.

**Tabel 3. 8** Bus DBDCU

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	DBDCU BUS	ER LAMP 1	LIGHTING	0,21	kVA
2	DBDCU BUS	ER LAMP 2	LIGHTING	0,24	kVA
3	DBDCU BUS	ER LAMP 3	LIGHTING	0,11	kVA
4	DBDCU BUS	MD LAMP 7	LIGHTING	0,11	kVA
5	DBDCU BUS	MD LAMP 8	LIGHTING	0,7	kVA

## 9) Bus DBNL

Bus DBNL juga merupakan turunan dari Batt Load Bus. Bus ini menghimpun beban penerangan untuk kegiatan pemantauan. Beban tersebut terdiri atas morse, flood light, dan search light. Data beban bus DBNL dapat dilihat pada Tabel 3.9.

**Tabel 3. 9** Bus DBNL

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	DBNL BUS	MAS, MORSE, ETC	LIGHTING	0,24	kVA
2	DBNL BUS	NUC RAM	LIGHTING	0,24	kVA
3	DBNL BUS	PORT, STB	LIGHTING	0,18	kVA
4	DBNL BUS	FLOOD LIGHT	LIGHTING	2,3	kVA
5	DBNL BUS	SEARCH LIGHT NO. 1	LIGHTING	1	kVA
6	DBNL BUS	SEARCH LIGHT NO. 2	LIGHTING	1	kVA

## 10) Bus DBLU

Bus DBLU merupakan bus turunan dari ESB. Bus ini melayani distribusi listrik menuju beban penerangan. Lokasi penerangan yang disuplai terletak di kamar mesin, gudang, dan permesinan bantu. Data bus DBLU ditampilkan pada Tabel 3.10.

**Tabel 3. 10** Bus DBLU

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	DBLU BUS	ER SOCKET	LUMP	2,2	kVA
2	DBLU BUS	STORE LAMP	LIGHTING	0,52	kVA
3	DBLU BUS	AE LAMP	LIGHTING	0,32	kVA
4	DBLU BUS	ECR LAMP	LIGHTING	0,42	kVA

## 11) Radio Bus

Radio Bus merupakan bus turunan dari ESB. Radio Bus melayani beban yang berkaitan dengan komunikasi radio. Adapun beban yang berada dibawah Radio Bus terdiri dari Radio VHF, HF, Navtec, dan SSAS. Data beban Radio Bus ditampilkan pada Tabel 3.11.

**Tabel 3. 11** Radio Bus

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	RADIO BUS	VHF	LUMP	0,25	kVA
2	RADIO BUS	MF/HF RADIO	LUMP	1	kVA
3	RADIO BUS	NAVTEC RECEIVER	LUMP	0,3	kVA
4	RADIO BUS	SSAS	LUMP	0,15	kVA

## 12) Navcom Bus

Navcom Bus juga merupakan bus turunan dari Batt Load Bus. Navcom Bus dapat disuplai dari MSB, ESB, maupun baterai. Beberapa data beban pada Navcom Bus terdiri dari radar, gps, rudder angle, dan speed log. Data Navcom Bus dapat dilihat tabel 4.11.

**Tabel 3. 12** Navcom Bus

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	NAVCOM BUS	RADAR S	LUMP	1	kVA
2	NAVCOM BUS	RADAR X	LUMP	0,7	kVA
3	NAVCOM BUS	GPS NAV	LUMP	0,01	kVA
4	NAVCOM BUS	GPS MAP	LUMP	0,04	kVA
5	NAVCOM BUS	ECD	LUMP	0,15	kVA
6	NAVCOM BUS	BNWAS	LUMP	0,1	kVA
7	NAVCOM BUS	ECO SOUNDER	LUMP	0,02	kVA
8	NAVCOM BUS	COMPASS	LUMP	0,05	kVA
9	NAVCOM BUS	RUDDER ANGLE	LUMP	0,01	kVA
10	NAVCOM BUS	WIND IND	LUMP	0,02	kVA
11	NAVCOM BUS	SPEED LOG	LUMP	0,1	kVA

## 13) Bus DBLB

Bus DBLB merupakan bus turunan dari Panel ESB. Secara umum, beban yang berada dibawah Bus DBLB terdiri atas Socket dan Lampu. Rincian beban Bus DBLB dapat dilihat di Tabel 4.12.

**Tabel 3. 13** Bus DBLB

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	DBLB BUS	ROOM SOCKET 1	LUMP	2,2	kVA
2	DBLB BUS	ROOM SOCKET 2	LUMP	2,2	kVA
3	DBLB BUS	ROOM LAMP 1	LIGHTING	0,14	kVA
4	DBLB BUS	ROOM LAMP 2	LIGHTING	0,23	kVA
5	DBLB BUS	ROOM LAMP 3	LIGHTING	0,23	kVA
6	DBLB BUS	ROOM LAMP 4	LIGHTING	0,19	kVA
7	DBLB BUS	GW LAMP	LIGHTING	0,42	kVA

## 14) Navigation Equipment Bus (1)

Navigation Equipment Bus (1) juga merupakan bus turunan dari Batt Load Bus. Navigation Equipment Bus (1) dapat disuplai dari MSB, ESB, maupun baterai. Beberapa data beban pada Navigation Equipment Bus (1) terdiri dari autopilot, AIS, weather fax, dan intercom. Data Navigation Equipment Bus (1) dapat dilihat tabel 3.14.



**Tabel 3. 14** Navigation Equipment Bus (1)

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	NAV EQ 01 BUS	AUTOPILOT	LUMP	0,15	kVA
2	NAV EQ 01 BUS	AIS	LUMP	0,1	kVA
3	NAV EQ 01 BUS	WEATHER FAX	LUMP	0,1	kVA
4	NAV EQ 01 BUS	INTERCOM	LUMP	0,15	kVA

#### 15) Navigation Equipment Bus (2)

Navigation Equipment Bus (2) juga merupakan bus turunan dari Batt Load Bus. Navigation Equipment Bus (2) dapat disuplai dari MSB, ESB, maupun baterai. Beberapa data beban pada Navigation Equipment Bus (2) terdiri dari addressor, dan telepon. Data Navigation Equipment Bus (2) dapat dilihat tabel 4.14.

**Tabel 3. 15** Navigation Equipment (2)

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	NAV EQ 02 BUS	ADDRESSOR	LUMP	0,3	kVA
2	NAV EQ 02 BUS	TELEPON	LUMP	0,25	kVA

#### 16) Navigation Equipment Bus (3)

Navigation Equipment Bus (3) juga merupakan bus turunan dari ESB. Navigation Equipment Bus (3) dapat disuplai dari MSB, dan ESB. Beberapa data beban pada Navigation Equipment Bus (3) terdiri dari clear view, wiper, gyro, telegraph, dan pendeteksi asap. Data Navigation Equipment Bus (3) dapat dilihat tabel 3.16.

**Tabel 3. 16** Navigation Equipment (3)

No.	BUS	ID	TYPE	VALUE	UNIT
1	NAV EQ 03	CLEAR VIEW SC	LUMP	0,1	kVA
2	NAV EQ 03	WIPER	LUMP	0,25	kVA
3	NAV EQ 03	GYRO	LUMP	0,3	kVA
4	NAV EQ 03	ENGINE TELEGRAPH	LUMP	0,1	kVA
5	NAV EQ 03	SMOKE DET	LUMP	0,15	kVA

### 3.4. Perencanaan ulang sistem distribusi listrik dengan sistem zonal

Dalam penelitian ini, studi keseimbangan beban terdiri atas beberapa tahapan. Tahapan tersebut diantaranya tahapan pendefinisian sistem permesinan, pengelompokan beban berdasarkan mode operasi, dan perhitungan prediksi kinerja generator. Proses pendefinisian sistem permesinan zonal dilakukan dengan tidak mengubah nilai daya pada sistem terpisah. Hal ini dikarenakan perubahan nilai daya akan membuat perbandingan sistem terpisah dan zonal menjadi tidak akurat.

### 3.4.1. Pendefinisian sistem permesinan

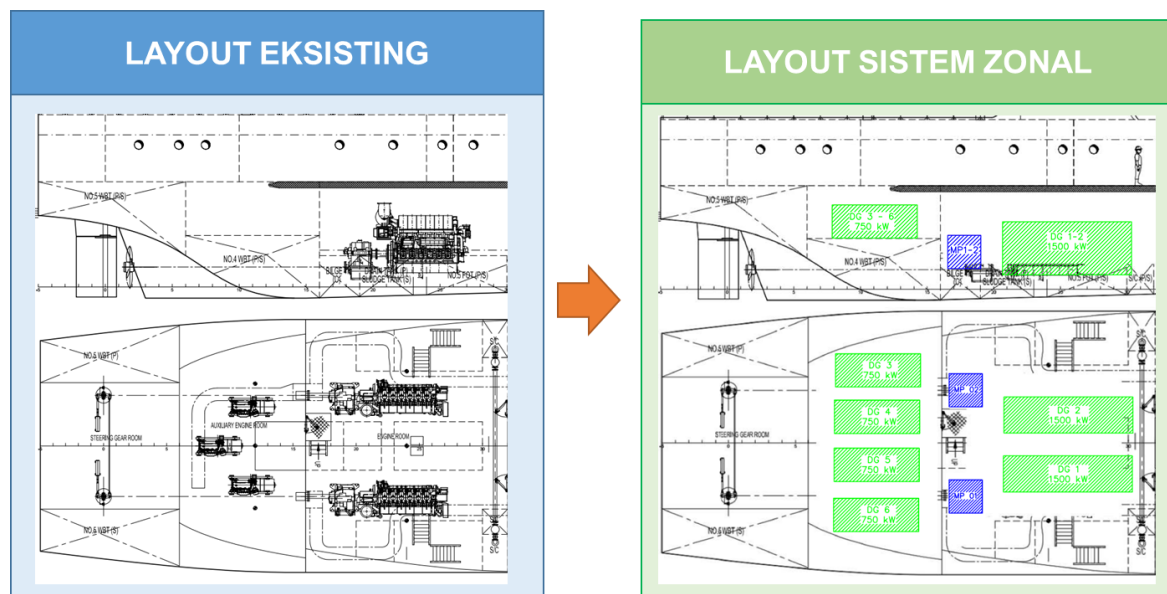
Tahapan awal dimulai dengan mendefinisikan sistem permesinan saat diubah menjadi topologi zonal. Sistem permesinan yang awalnya merupakan sistem distribusi radial – terpisah dengan penggunaan mesin propulsi mekanik diubah menjadi sistem distribusi listrik. Berdasarkan hasil studi literatur, pengoperasian sistem distribusi listrik dengan topologi zonal akan menjadi optimal dengan sistem distribusi daya terpusat (*integrated power system*).

Daya mekanis diesel akan diubah menjadi pembangkit listrik pada rating yang sama yaitu 5500 kW ( $\cos \phi = 0.8$ ) . Daya tersebut ditambahkan daya generator kapal eksisting sebesar 2 x 250 kW. Sehingga data total pembangkit adalah 6000 kW. Secara praktis, daya sebesar 6000 kW akan dibagi secara rata menjadi 2 unit pembangkit diesel generator sebesar 1500 kW, dan 6 unit pembangkit generator 750 kW . Data diesel generator yang digunakan pada sistem distribusi listrik dengan topologi zonal ditampilkan pada Tabel 3.17. Layout pemasangan generator ditampilkan pada Gambar 3.4.

**Tabel 3. 17** Data generator yang digunakan pada sistem distribusi zonal\*)

No.	NAME	ID	TYPE	POWER	VOLTAGE
1	GENERATOR 1	GEN 1	DIESEL GENERATOR	1500 kW	380 V
2	GENERATOR 2	GEN 2	DIESEL GENERATOR	1500 kW	380 V
3	GENERATOR 3	GEN 3	DIESEL GENERATOR	750 kW	380 V
4	GENERATOR 4	GEN 4	DIESEL GENERATOR	750 kW	380 V
5	GENERATOR 5	GEN 5	DIESEL GENERATOR	750 kW	380 V
6	GENERATOR 6	GEN 6	DIESEL GENERATOR	750 kW	380 V

\*) Jumlah daya yang dibangkitkan pada sistem zonal sama dengan jumlah daya pada sistem radial.



**Gambar 3. 4** Layout Generator pada sistem zonal

### 3.4.2. Pengelompokan beban

Daftar beban yang telah diketahui dikelompokkan berdasarkan dengan mode operasinya. Mode operasi yang digunakan adalah kondisi *manouvering*, *standby at port*, *loading unloading*, *sailing*, *working*,. Mode operasi disesuaikan dengan karakter kapal eksisting.

*Manouvering* didefinisikan sebagai kondisi kapal saat melakukan pergerakan dan perubahan arah mudi dalam radius terbatas. Kegiatan manuver dilakukan pada saat kapal berada dikawasan pelabuhan, atau di area tertentu yang membutuhkan perubahan arah. Pada kondisi manuver umumnya kapal hanya menggunakan sebagian dari daya untuk permesinan utama, serta menggunakan alat bantu manuver seperti steering gear, dan bow thruster. Konfigurasi beban – beban tersebut difungsikan agar kapal berada pada arah mudi yang diharapkan.

Kondisi *standby at port* didefinisikan sebagai kondisi saat kapal telah bersandar sebelum melakukan kegiatan proses bongkar muat. Pada kondisi ini kru kapal akan melaporkan status kapal dan melakukan persiapan bongkat muat. Sistem permesinan yang masih beroperasi diantaranya sistem bantu permesinan utama, dan beban akomodasi.

Kondisi *loading unloading* didefinisikan sebagai kondisi saat kapal melakukan proses bongkar muat ke pelabuhan. Pada kondisi ini, peralatan bongkar muat akan diaktifkan secara penuh. Sedangkan sistem bantu permesinan utama akan dinonaktifkan.

Kondisi *sailing* didefinisikan sebagai kondisi pada saat kapal berlayar. Pada kondisi ini, motor penggerak akan mampu beroperasi secara penuh. Sebagai penunjangnya, sistem bantu permesinan juga akan beroperasi total. Dalam topology zonal, kondisi *sailing* akan menjadi kondisi dengan penggunaan beban tertinggi akibat operasi sistem propulsi elektrik. Namun, pada kondisi berlayar sistem permesinan bongkar muat dan permesinan geladak akan dinonaktifkan.

Dikarenakan kapal eksisting merupakan kapal khusus (*special ship*), maka kondisi *working* akan ditambahkan dalam analisa keseimbangan daya. Kapal akan mampu mengoperasikan sistem permesinan bongkar muat, permesinan geladak, serta sebagian daya dari sistem propulsi. Hal ini dimaksudkan agar kapal mampu melakukan kegiatan tertentu diperairan lepas.

#### 1) Beban propulsi

Beban propulsi pada sistem zonal terdiri atas motor listrik AC 380V berkapasitas 2 x 2750 kW. Masing – masing motor listrik akan memberikan kontribusi daya pada mode operasi

yang diasumsikan. Pada sailing, motor listrik akan beroperasi 85% (*engine rating*) atau pada 4765 kW. Pada saat manuver, motor listrik akan beroperasi pada 20% atau 1100 kW. Data beban propulsi ditampilkan pada Tabel 3.18.

**Tabel 3. 18** Data motor propulsi elektrik

Shipboard Load Group	Wired kW	Manouvering	Standby at Port	Loading unloading	Sailing 85%	Sailing 20%	Working
<i>Propulsion Machinery</i>							
Motor Propulsion	5500	1100	0	0	4675	1100	550

2) Zona – 1: Sitem bantu permesinan utama

Sistem bantu permesinan utama akan dikategorikan menjadi Zona 1. Zona 1 terdiri atas pompa bahan bakar, pendingin, pelumas, dan beban lain yang menunjang sistem permesinan utama. Data pengelompokan Zona -1 ditampilkan pada Tabel 3.19.

**Tabel 3. 19** Data beban Zona 1

Shipboard Load Group		Wired kW	Manouvering	Standby at Port	Loading unloading	Sailing 85%	Sailing 20%	Working
<b>ZONE - 1</b>								
<i>Auxiliary Machinerics</i>								
MSB	FO NO. 1	2,2	2,2	2,2	0	2,2	2,2	2,2
MSB	FO NO. 2	2,2	2,2	2,2	0	2,2	2,2	2,2
MSB	CO SW NO. 1	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
MSB	CO FW NO. 1	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
MSB	CA NO. 1	4,6	4,6	4,6	0	4,6	4,6	4,6
MSB	LO GB NO. 1	4	4	4	0	4	4	4
MSB	CA SV NO. 1	3,5	3,5	3,5	0	3,5	3,5	3,5
MSB	CA SV NO. 2	3,5	3,5	3,5	0	3,5	3,5	3,5
MSB	DIRTY OIL NO. 1	2,2	2,2	2,2	0	2,2	2,2	2,2
MSB	DIRTY OIL NO. 2	2,2	2,2	2,2	0	2,2	2,2	2,2
MSB	FO PURIFIER NO .1	2,25	2,25	2,25	0	2,25	2,25	2,25
MSB	FO PURIFIER NO .2	2,25	2,25	2,25	0	2,25	2,25	2,25
MSB	CA NO. 2	4,6	4,6	4,6	0	4,6	4,6	4,6
MSB	LO NO. 1	2,2	2,2	2,2	0	2,2	2,2	2,2
MSB	LO NO. 2	2,2	2,2	2,2	0	2,2	2,2	2,2
MSB	OWS	2,25	2,25	2,25	0	2,25	2,25	2,25
<b>TOTAL</b>		<b>40,9</b>	<b>40,9</b>	<b>40,9</b>	<b>0</b>	<b>40,9</b>	<b>40,9</b>	<b>40,9</b>

3) Zona – 2: Sistem kemudi, sistem pelumas, dan sistem pendingin darurat

Zona 2 terdiri atas Sistem kemudi, sistem pelumas, dan sistem pendingin darurat. Data pengelompokan Zona -2 ditampilkan pada Tabel 3.20.

**Tabel 3. 20** Data beban zona 2

Shipboard Load Group		Wired kW	Manouvering	Standby at Port	Loading unloading	Sailing 85%	Sailing 20%	Working
<b>ZONE - 2</b>								
ESB	LO GB NO. 2	5	5	5	0	5	5	5
ESB	CO SW NO. 2	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
ESB	STEERING GEAR	7,5	7,5	7,5	0	7,5	7,5	7,5
<b>TOTAL</b>		<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>

4) Zona – 3: Peralatan bongkar muat

Sistem bantu permesinan bongkar muat akan dikategorikan menjadi Zona 3. Zona 3 terdiri atas healing pump, dan perangkat crane. Data pengelompokan Zona -3 ditampilkan pada Tabel 3.21.

**Tabel 3. 21** Data beban Zona 3

Shipboard Load Group		Wired kW	Manouvering	Standby at Port	Loading unloading	Sailing 85%	Sailing 20%	Working
<b>ZONE - 3</b>								
<i>Cargo Equipment</i>								
MSB	HEALING PUMP	160	0	0	160	0	0	160
MSB	CRANE	200	0	0	200	0	0	200
<b>TOTAL</b>		<b>360</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>360</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>360</b>

5) Zona – 4: Peralatan permesinan geladak

Sistem bantu permesinan geladak akan dikategorikan menjadi Zona 4. Zona 4 terdiri atas bilga/ballast, windlass, dan capstan. Data pengelompokan Zona - 4 ditampilkan pada Tabel 3.22

**Tabel 3. 22** Data beban zona 4

Shipboard Load Group		Wired kW	Manouvering	Standby at Port	Loading unloading	Sailing 85%	Sailing 20%	Working
<b>ZONE - 4</b>								
<i>Deck Machineries</i>								
MSB	BOW THRUSTER	160	160	0	0	0	0	160
MSB	BILGE / BALAST	11	11	0	0	0	0	11
MSB	CAP BUOY NO. 1	2,5	2,5	0	0	0	0	2,5
MSB	CAP BUOY NO. 2	2,5	2,5	0	0	0	0	2,5
MSB	FP WINDLASS	3	3	0	0	0	0	3
MSB	AP WINDLASS	3	3	0	0	0	0	3
MSB	MOORING CAPSTAN	2,5	2,5	0	0	0	0	2,5
<b>TOTAL</b>		<b>184,5</b>	<b>184,5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>184,5</b>

6) Zona – 5: Peralatan permesinan darurat

Sistem bantu permesinan darurat akan dikategorikan menjadi Zona 5. Zona 5 terdiri atas provition crane, davits, dan pompa pemadam kebakaran. Data pengelompokan Zona - 5 ditampilkan pada Tabel 3.23.

**Tabel 3. 23** Data beban zona 5

Shipboard Load Group		Wired kW	Manouvering	Standby at Port	Loading unloading	Sailing 85%	Sailing 20%	Working
<b>ZONE - 5</b>								
MSB	PROV CRANE	3	3	3	3	3	3	3
MSB	DAVITS NO. 1	2	2	2	2	2	2	2
MSB	DAVITS NO. 2	2	2	2	2	2	2	2
ESB	PMK	11	11	11	11	11	11	11
MSB	GS PUMP / PMK	11	11	11	11	11	11	11
<b>TOTAL</b>		<b>29</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>29</b>

7) Zona – 6: Peralatan permesinan akomodasi

Sistem bantu permesinan akomodasi akan dikategorikan menjadi Zona 6. Zona 6 terdiri atas *fresh water generator*, pendingin ruangan, pemanas air, dan kompor. Data pengelompokan Zona - 6 ditampilkan pada Tabel 3.24.

**Tabel 3. 24** Data beban zona 6

Shipboard Load Group		Wired kW	Manouvering	Standby at Port	Loading unloading	Sailing 85%	Sailing 20%	Working
<b>ZONE - 6</b>								
<i>Hotel Load</i>								
MSB	FW GEN	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
MSB	FW PUMP	3	3	3	3	3	3	3
MSB	CO AC NO. 1	2	2	2	2	2	2	2
MSB	CO AC NO. 2	2	2	2	2	2	2	2
MSB	SP FAN GEN	8	8	8	8	8	8	8
MSB	SP FAN MAIN DECK	8	8	8	8	8	8	8
MSB	EX FAN BATH	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
MSB	SEWAGE PUMP	3	3	3	3	3	3	3
MSB	AHU	34,4	34,4	34,4	34,4	34,4	34,4	34,4
MSB	STP	3	3	3	3	3	3	3
MSB	ER AC NO. 1	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
MSB	ER AC NO. 2	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
MSB	HEATER NO. 1	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
MSB	HEATER NO. 2	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
MSB	HEATER NO. 3	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
MSB	HEATER NO. 4	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
MSB	STOVE	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1
MSB	DBGL	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
MSB	FREEZER	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
<b>TOTAL</b>		<b>109,3</b>	<b>109,3</b>	<b>109,3</b>	<b>109,3</b>	<b>109,3</b>	<b>109,3</b>	<b>109,3</b>

8) Zona – 7: Peralatan permesinan hydrphore, dan suplai udara engine room

Sistem bantu permesinan tambahan akan dikategorikan menjadi Zona 7. Zona 7 terdiri atas peralatan permesinan hydrphore, dan suplai udara engine room. Data pengelompokan Zona - 7 ditampilkan pada Tabel 3.25.

**Tabel 3. 25** Data beban zona 7

Shipboard Load Group		Wired kW	Manouvering	Standby at Port	Loading unloading	Sailing 85%	Sailing 20%	Working
<b>ZONE - 7</b>								
ESB	HYDRO SW	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
ESB	HYDRO FW	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
ESB	SP ER NO. 1	3	3	3	3	3	3	3
ESB	SP ER NO. 2	3	3	3	3	3	3	3
<b>TOTAL</b>		<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>

9) Zona – 8: Peralatan penerangan, dan navigasi

Sistem penerangan, dan navigasi akan dikategorikan menjadi Zona 8. Zona 8 terdiri atas lampu penerangan, socket, peralatan komunikasi, gps, dan radio. Data pengelompokan Zona - 8 ditampilkan pada Tabel 3.26.

**Tabel 3. 26** Data zona 8

Shipboard Load Group		Wired kW	Manou vering	Standby at Port	Loading unloading	Sailing 85%	Sailing 20%	Working
ZONE - 8								
<i>Lamp and Navigation</i>								
DBLM	MD SOCKET 1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
DBLM	MD SOCKET 2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
DBLM	MD SOCKET 3	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
DBLM	MD SOCKET 4	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
DBLM	MD SOCKET 5	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
DBLM	MD LAMP 1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
DBLM	MD LAMP 2	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
DBLM	MD LAMP 3	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
DBLM	MD LAMP 4	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
DBLM	MD LAMP 5	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
DBLM	MD LAMP 6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
DBDBCN	WH LAMP 4	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
DBDBCN	NDO LAMP 1	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
DBDBCN	BD LAMP 1	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
DBDBCN	BD LAMP 2	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
DBDBCN	BD LAMP 3	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
DBDBCN	BD LAMP 4	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
DBDBCN	ER LAMP 1	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
DBDBCN	ER LAMP 2	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
DBDBCN	ER LAMP 3	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
DBDBCN	MD LAMP 7	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
DBDBCN	MD LAMP 8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
NAVEQ 1	AUTOPILOT	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
NAVEQ 1	AIS	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
NAVEQ 1	WEATHER FAX	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
NAVEQ 1	INTERCOM	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
DBNL	MAS, MORSE, ETC	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
DBNL	NUC RAM	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
DBNL	PORT, STB	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
DBNL	FLOOD LIGHT	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
DBNL	SEARCH LIGHT NO. 1	1	1	1	1	1	1	1
DBNL	SEARCH LIGHT NO. 2	1	1	1	1	1	1	1
NAVEQ 2	ADDRESSOR	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
NAVEQ 2	TELEPON	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
DBLU	ER SOCKET	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
DBLU	STORE LAMP	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
DBLU	AE LAMP	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
DBLU	ECR LAMP	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
RADIO	VHF	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
RADIO	MF/HF RADIO	1	1	1	1	1	1	1
RADIO	NAVTEC RECEIVER	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
RADIO	SSAS	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
NAVEQ 3	CLEAR VIEW SC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
NAVEQ 4	WIPER	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
NAVEQ 5	GYRO	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
NAVEQ 6	ENGINE TELEGRAPH	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
NAVEQ 7	SMOKE DET	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
NAVCOM	RADAR S	1	1	1	1	1	1	1
NAVCOM	RADAR X	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
NAVCOM	GPS NAV	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
NAVCOM	GPS MAP	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
NAVCOM	ECD	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Shipboard Load Group		Wired kW	Manou vering	Standby at Port	Loading unloading	Sailing 85%	Sailing 20%	Working
<b>ZONE - 8</b>								
NAVCOM	BNWAS	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
NAVCOM	ECO SOUNDER	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
NAVCOM	COMPASS	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
NAVCOM	RUDDER ANGLE	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
NAVCOM	WIND IND	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
NAVCOM	SPEED LOG	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DBLB	ROOM SOCKET 1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
DBLB	ROOM SOCKET 2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
DBLB	ROOM LAMP 1	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
DBLB	ROOM LAMP 2	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
DBLB	ROOM LAMP 3	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
DBLB	ROOM LAMP 4	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
DBLB	GW LAMP	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
<b>TOTAL</b>		<b>34,23</b>	<b>34,23</b>	<b>34,23</b>	<b>34,23</b>	<b>34,23</b>	<b>34,23</b>	<b>34,23</b>

#### 10) Perhitungan kebutuhan daya listrik berdasarkan mode operasi

Berdasarkan mode operasi yang telah diasumsikan, generator akan beroperasi pada rating tertinggi saat kondisi sailing. Pada saat kondisi sailing, generator akan bekerja pada daya 5114 kW. Hampir seluruh dari daya tersebut disuplai menuju motor propulsi yang beroperasi pada rating 4675 kW. Detail penggunaan daya pada kapal dengan sistem distribusi zonal ditampilkan pada Tabel 5.12.

**Tabel 3. 27** Perhitungan kebutuhan daya listrik berdasarkan mode operasi

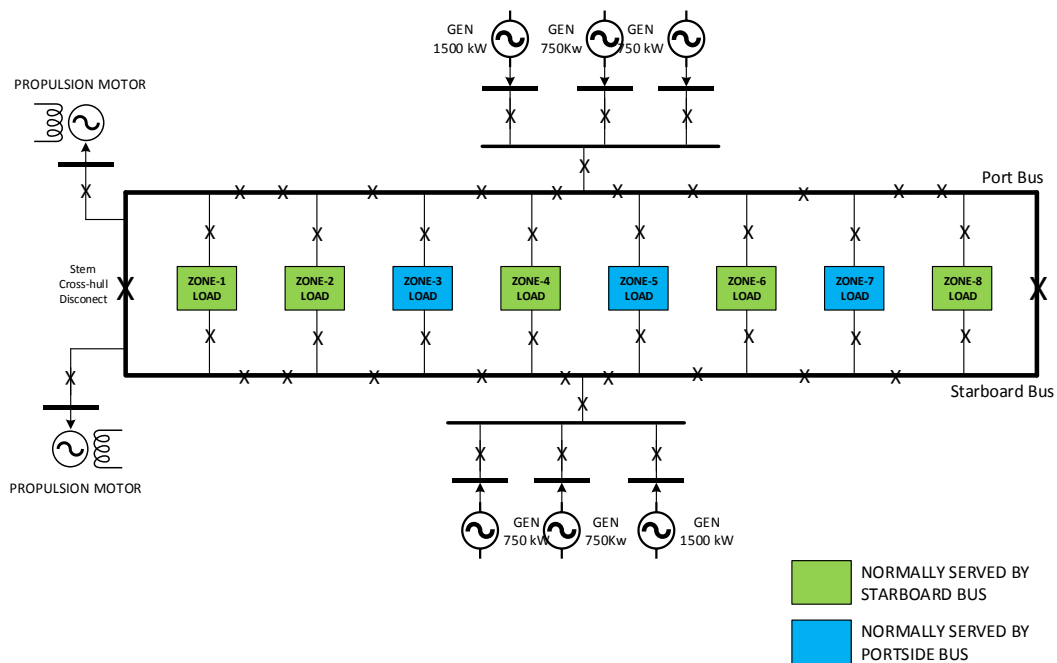
Shipboard Load Group	Wired kW	Manouvering	Standby at Port	Loading unloading	Sailing 85%	Sailing 20%	Working
ZONE - 1	40,9	40,9	40,9	0	40,9	40,9	40,9
ZONE - 2	14	14	14	0	14	14	14
ZONE - 3	360	0	0	360	0	0	360
ZONE - 4	184,5	184,5	0	0	0	0	184,5
ZONE - 5	29	29	29	29	29	29	29
ZONE - 6	109,3	109,3	109,3	109,3	109,3	109,3	109,3
ZONE - 7	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
ZONE - 8	34,23	34,23	34,23	34,23	34,23	34,23	34,23
BEBAN MOTOR PROPULSI	5500	1100	0	0	4675	1100	550
<b>BEBAN TOTAL</b>	<b>6280,33</b>	<b>1520,33</b>	<b>235,83</b>	<b>540,93</b>	<b>4910,83</b>	<b>1335,83</b>	<b>1330,33</b>

#### 3.4.3. Rencana desain sistem distribusi

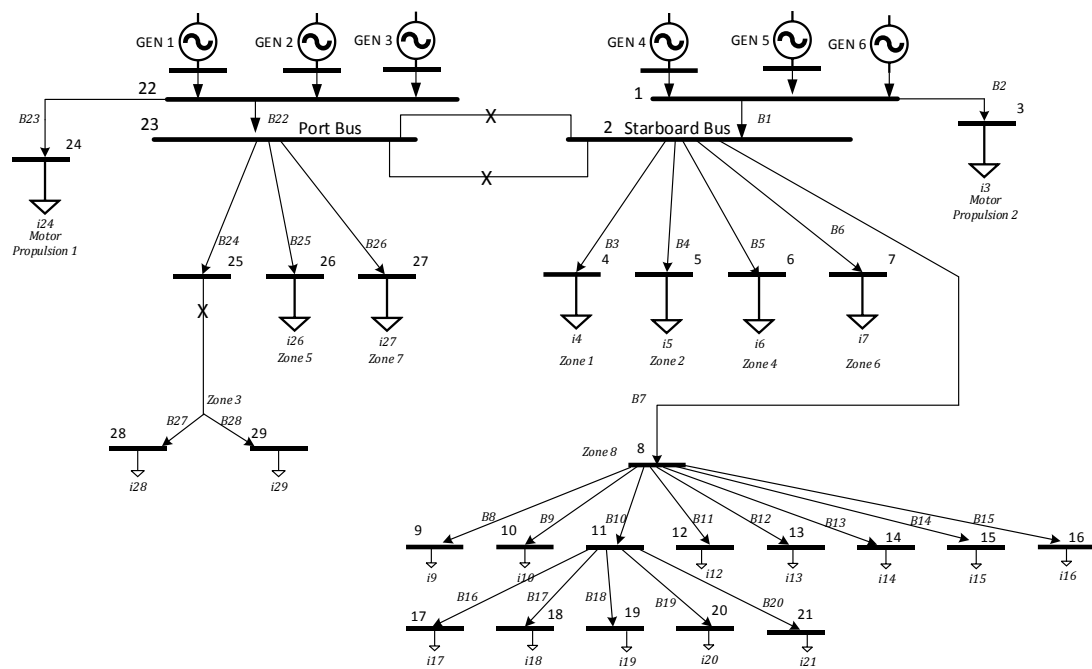
Secara umum, kapal dengan sistem distribusi zonal akan memiliki dua bus utama yaitu port bus, dan starboard bus. Pada kondisi normal, port bus maupun staboard bus akan memiliki beban distribusi yang berbeda dan dibagi secara seimbang mungkin. Zona 1, Zona 2, Zona 4, Zona 6, dan Zona 8 akan disuplai melalui staboard bus. Sedangkan Zonal 3, Zona 5, dan Zona 7 akan disuplai melalui port bus. Meskipun akan mensuplai zona beban yang berbeda, port bus dan starboard bus akan memiliki jaringan pasif satu sama lain. Setiap jaringan akan diputus-



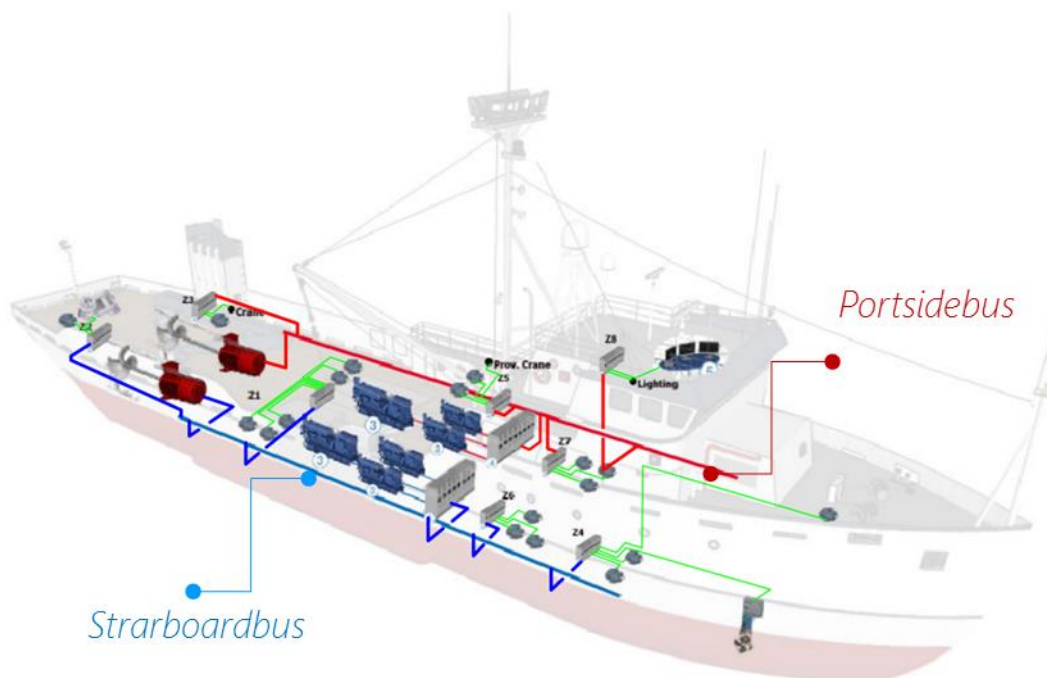
hubungkan melalui reverse power relay. Pada peletakan panel distribusi, enam (6) unit generator akan di letakkan masing – masing dua (3) unit pada portbus dan dua (3) unit pada starboardbus. Dua (2) unit motor listrik propulsi juga diinstal pada masing-masing unit bus. Detail peletakan panel bus generator dan motor dapat dilihat pada Gambar 3.5, Gambar 3.6, dan Gambar 3.7.



**Gambar 3. 5** Rencana umum sistem distribusi listrik dengan sistem zonal.



**Gambar 3. 6** Peletakan panel distribusi



**Gambar 3. 7** Peletakan panel distribusi: 3D View

#### 3.4.4. Pemilihan unit proteksi sistem distribusi listrik

Tabel 3.28 merupakan sampel dari sepuluh perangkat beserta rating arus *circuit breaker*nya.

**Tabel 3. 28** Sampel pemilihan *circuit breaker*

No	Unit Proteksi	Power (kW)	Jenis	Arus Nominal	Jenis Starting	Arus Start	Arus Rating Circuit Breaker	Jenis Circuit Breaker
1	Generator	1495	Generator	4917,76	-	-	6000 A	ACB
2	Bow Thruster	160	Induktif	526,32	Wye Delta	1578,95	2000 A	ACB
3	Ballast Pump	11	Induktif	36,18	Wye Delta	108,55	150 A	MCCB
4	ER LAMP 1	0,21	Resistif	0,69	-	-	2 A	MCB
5	AIS	0,1	Resistif	0,33	-	-	2 A	MCB
6	FW GEN	5,5	Induktif	18,09	DOL	126,64	150 A	MCCB
7	FW PUMP	3	Induktif	9,87	DOL	69,08	100 A	MCCB
8	CO AC NO. 1	2	Induktif	6,58	DOL	46,05	65 A	MCB
9	CO AC NO. 2	2	Induktif	6,58	DOL	46,05	65 A	MCB
10	SP FAN GEN	8	Induktif	26,32	DOL	184,21	250 A	MCCB

#### 3.4.5. Pemilihan konduktor

Dari persamaan 2.5 telah diketahui bahwa kapasitas kuat hantar arus pada konduktor sebaiknya lebih tinggi dibandingkan rating arus pada circuit breaker. Oleh karena itu dalam pemilihan kabel, kuat hantar arus pada konduktor/kabel disesuaikan dengan arus circuit breaker pada sistem tertentu. Sampel data pemilihan kabel ditampilkan pada Tabel 3.9.

**Tabel 3. 29** Pemilihan konduktor untuk beban kelistrikan

No	Unit Proteksi	Power (kW)	Arus Rating Circuit Breaker	FLA Konduktor/Kabel yang dipilih	Ukuran konduktor yang dipilih
1	Generator	1495 kW	6000 A	8000 A	8 x (4c.1000 sq.mm)
2	Bow Thruster	160 kW	2000 A	3000 A	3 x (4c.2000 sq.mm)
3	Ballast Pump	11 kW	150 A	200 A	1 x (4c.70 sq.mm)
4	ER LAMP 1	0,21 kW	2 A	10 A	1 x (4c.1 sq.mm)
5	AIS	0,1 kW	2 A	10 A	1 x (4c.1 sq.mm)
6	FW GEN	5,5 kW	150 A	200 A	1 x (4c.70 sq.mm)
7	FW PUMP	3 kW	100 A	150 A	1 x (4c.50 sq.mm)
8	CO AC NO. 1	2 kW	65 A	100 A	1 x (4c.25 sq.mm)
9	CO AC NO. 2	2 kW	65 A	100 A	1 x (4c.25 sq.mm)
10	SP FAN GEN	8 kW	250 A	300 A	1 x (4c.120 sq.mm)

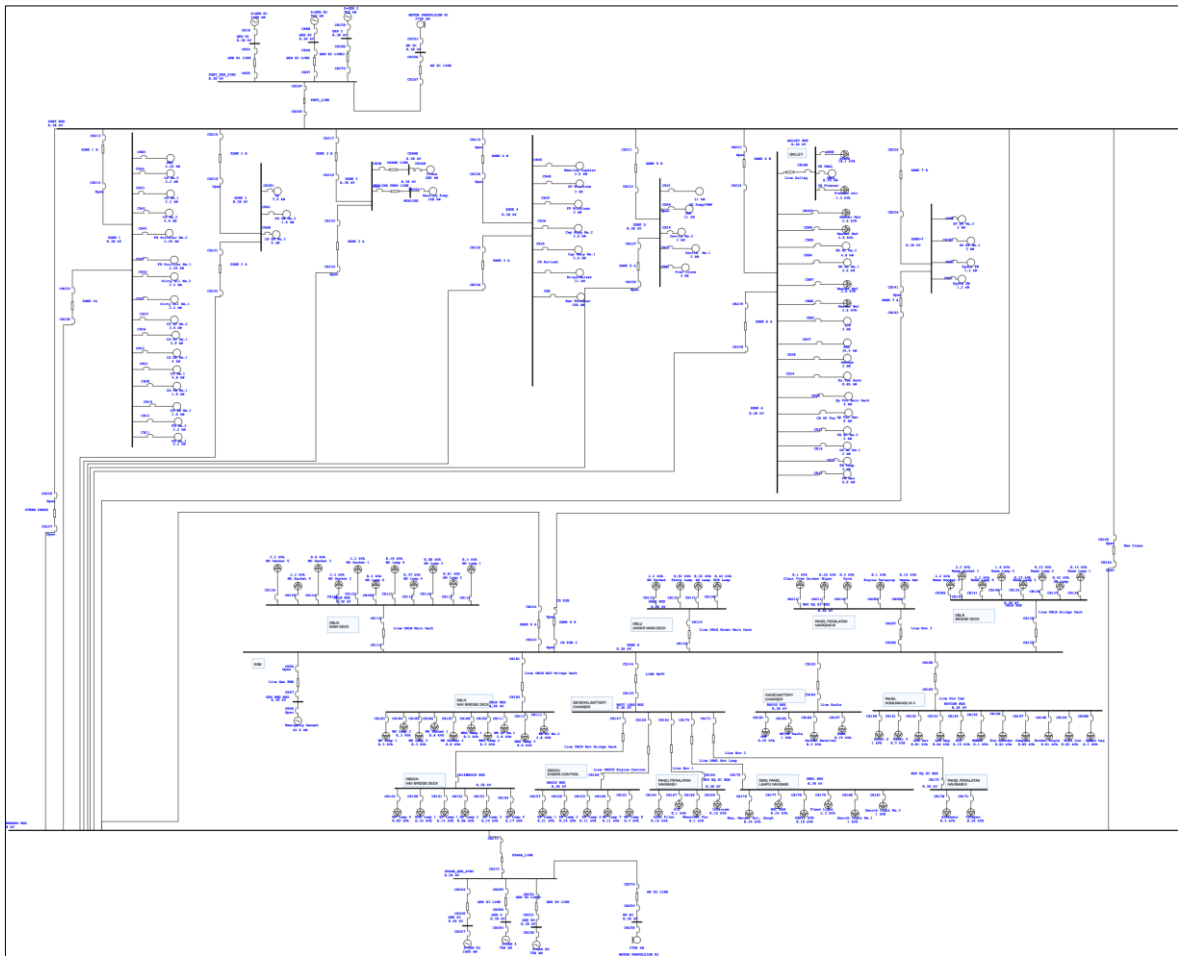
Selain memilih sistem distribusi listrik pada setiap beban, pemilihan kabel dan circuit breaker juga dilakukan pada setiap dan panel distribusi. Tabel 3.30 menampilkan data jaringan distribusi.

**Tabel 3. 30** Tabel data jaringan distribusi

No.	Line/Cable	Library	Size (sq.mm)	Ohms /1000 m per Conductor (Cable)		
				R	X	Y
1	CRANE LINE	0.6MALN1	1000	0,082021	0,125755	
2	GEN LINE	0.6MALN1	1000	0,090223	0,138330	
3	HEALING PUMP LINE	0.6MCUN1	750	0,068898	0,131234	
4	LINE BATT	1.0MCUN3	70	0,326191	0,075000	0,0001307
5	Line DBCN Nav Bridge Deck	1.0MCUN4	25	0,884149	0,082000	0,0000889
6	Line DBDCU Engine Control	1.0MCUN2	25	0,884149	0,082000	0,0001002
7	Line DBLB Bridge Deck	1.0MCUN4	35	0,638076	0,080000	0,0001015
8	Line DBLM Main Deck	1.0NCUS3	50	0,471165	0,073900	
9	Line DBLN NAV Bridge Deck	1.0MCUN4	50	0,471165	0,079000	0,0001188
10	Line DBLU Under Main Deck	1.0MCUN4	25	0,884149	0,082000	0,0000889
11	Line DBNL Nav Lamp	1.0MCUN2	35	0,638076	0,080000	0,0001096
12	Line Galley	1.0NCUN1	500	0,048929	0,087000	
13	Line Nav 1	1.0MCUN2	25	0,884149	0,082000	0,0001002
14	Line Nav 2	1.0MCUN2	25	0,884149	0,082000	0,0001002
15	Line Nav 3	1.0MCUN4	25	0,884149	0,082000	0,0000889
16	Line Nav Com	11MCUS1	25	0,884149	0,154000	0,0000653
17	Line Radio	1.0MCUN2	25	0,884149	0,082000	0,0001002
18	MP 01 LINE	0.6NALN1	1000	0,045275	0,060630	
19	MP 02 LINE	0.6NALN1	1000	0,045275	0,060630	
20	PORT_LINE	0.6MALN1	1000	0,082021	0,125755	
21	STARB_LINE	0.6MALN1	1000	0,082021	0,125755	
22	ZONE 1A	11NALS3	185	0,201050	0,093100	
23	ZONE 2 A	0.6NCUN1	50	0,434300	0,097300	
24	ZONE 3 B	0.6MCUN3	1000	0,054134	0,085564	
25	ZONE 4 A	11NCUS1	800	0,032428	0,093000	0,0003072
26	ZONE 5 B	0.6MALN3	120	0,298316	0,088400	
27	ZONE 6 A	0.6MCUN1	750	0,070866	0,121654	
28	ZONE 7 B	1.0MCUN2	25	0,884149	0,082000	0,0001002
29	ZONE 8 A	0.6MALN3	500	0,158189	0,095407	

#### 3.4.5. Single line diagram

Gambar 3.8 memperlihatkan single-line diagram sistem distribusi listrik dengan topologi zonal.



**Gambar 3. 8** Single line diagram sistem zonal

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 4**

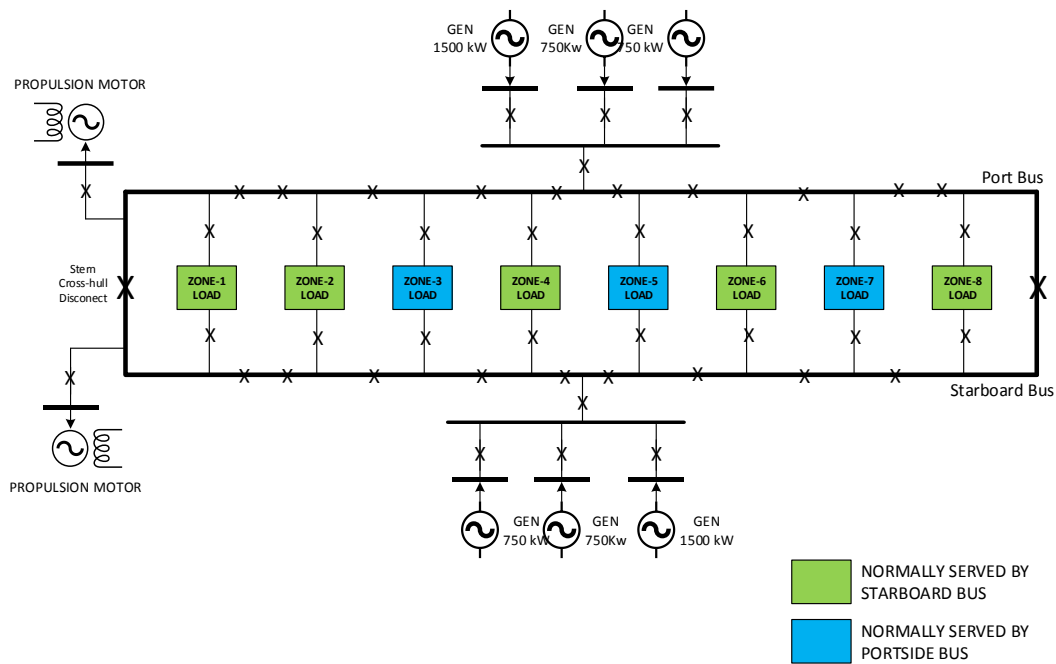
### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bagian ini akan membahas beberapa analisa yang telah dilakukan berkaitan dengan implementasi sistem distribusi zonal pada kapal. Beberapa analisa tersebut diantaranya studi aliran daya, pengembangan *user interface*, analisis manfaat, analisis prediksi biaya investasi sistem, dan analisa perbandingan manfaat dan biaya. Studi aliran daya bertujuan untuk mengetahui performa sistem distribusi. *User interface* bertujuan untuk memudahkan pembacaan tegangan untuk setiap mode operasi. Analisis manfaat bertujuan untuk mengetahui dampak yang diberikan dari implementasi sistem. Analisis prediksi pada sistem yang telah diperbaharui juga akan dilakukan untuk mengetahui perbandingan dengan sistem eksisting. Analisis kemudian dilanjutkan dengan analisis manfaat dan biaya untuk mengetahui korelasi antara manfaat yang didapatkan terhadap biaya yang telah dikeluarkan.

#### **4.1. Studi aliran daya**

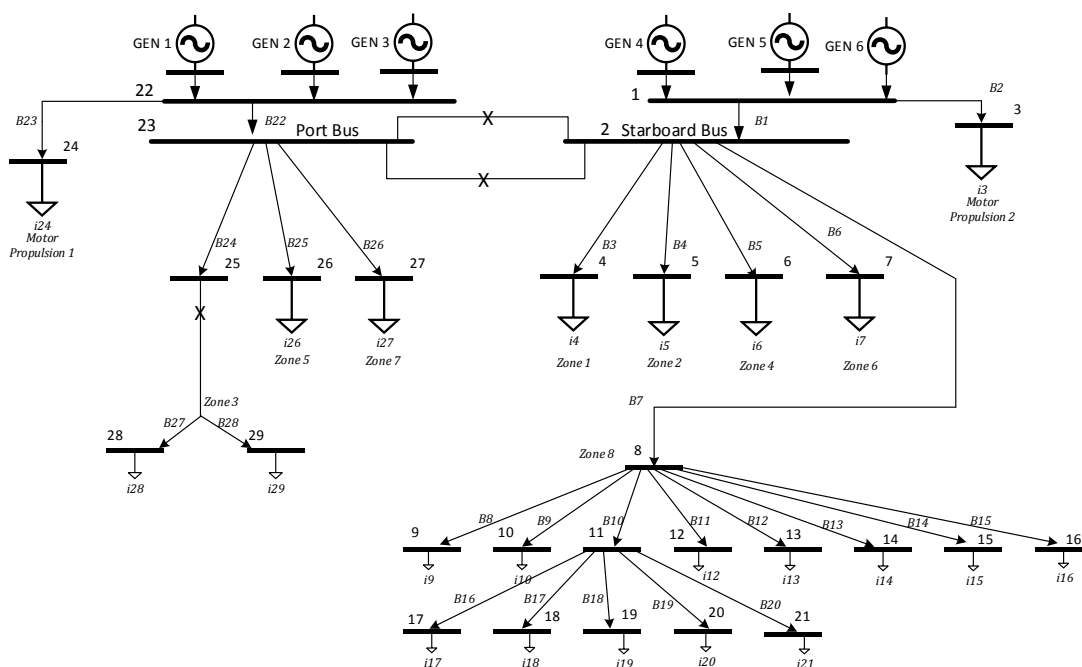
Seperti yang telah dikemukakan pada Bab 5 mengenai perancangan sistem distribusi zonal. Kapal akan memiliki dua bus distribusi utama yaitu *port bus* dan *starboard bus* yang mampu mendistribusikan listriknya ke seluruh zona beban. Apabila salah satu jaringan mengalami kegagalan maka daya akan disuplai dari bus yang lain. Setiap jaringan akan dilengkapi *power reverse* relay untuk mengkonfigurasi distribusi aliran daya.

Dalam keadaan normal, kinerja sistem distribusi listrik dibagi menjadi dua sistem terpisah, yaitu sistem *port bus* dan *starboard bus*. Masing – masing dari bus tersebut akan mendistribusikan beban yang berbeda. Pembagian distribusi beban sistem zonal ditampilkan pada Gambar 4.1.



**Gambar 4. 1** Sistem distribusi zonal dan pembagian bebannya

Dalam keadaan operasi normal, *starboard bus* akan mendistribusikan dayanya pada zona 1, zona 2, zona 4, zona 6, dan zona 8. Sedangkan *port bus* akan mendistribusikan dayanya pada zona 3, zona 5, dan zona 7. Pemetaan sistem distribusi listrik secara operasi normal ditampilkan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4. 2** Pemetaan sistem distribusi listrik saat beroperasi normal



#### 4.1.1. Bus-Injection to Branch-Current Matrix (BIBC)

Dengan mengacu pada Gambar 4.2 dan persamaan (2.12), diketahui sistem memiliki *branch current* seperti pada persamaan (4.1a) untuk *Starboard bus* dan (4.1b) untuk *portbus*.

##### **Branch current : Starboard bus** (4.1a)

$$\begin{aligned}
 B_{20} &= I_2 + I_{21} \\
 B_{19} &= I_2 + I_{20} \\
 B_{18} &= I_2 + I_{19} \\
 B_{17} &= I_2 + I_{18} \\
 B_{16} &= I_2 + I_{17} \\
 B_{15} &= I_2 + I_{16} \\
 B_{14} &= I_2 + I_{15} \\
 B_{13} &= I_2 + I_{14} \\
 B_{12} &= I_2 + I_{13} \\
 B_{11} &= I_2 + I_{12} \\
 B_{10} &= I_2 + I_{17} + I_{18} + I_{19} + I_{20} + I_{21} \\
 B_9 &= I_2 + I_{10} \\
 B_8 &= I_2 + I_9 \\
 B_7 &= I_2 + I_9 + I_{10} + I_{12} + I_{13} + I_{14} + I_{15} + I_{16} + I_{17} + I_{18} + I_{19} + I_{20} + I_{21} \\
 B_6 &= I_2 + I_7 \\
 B_5 &= I_2 + I_6 \\
 B_4 &= I_2 + I_5 \\
 B_3 &= I_2 + I_4 \\
 B_2 &= I_3 \\
 B_1 &= I_2 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12} + I_{13} + I_{14} + I_{15} \\
 &\quad I_{16} + I_{17} + I_{18} + I_{19} + I_{20} + I_{21}
 \end{aligned}$$

##### **Branch current : Port bus** (4.1b)

$$\begin{aligned}
 B_{28} &= I_{29} \\
 B_{27} &= I_{28} \\
 B_{26} &= I_{27} \\
 B_{25} &= I_{26} \\
 B_{24} &= I_{28} + I_{29} \\
 B_{23} &= I_{24} \\
 B_{22} &= I_{23} + I_{25} + I_{26} + I_{27} + I_{28} +
 \end{aligned}$$

Dari Gambar 4.2., persamaan 2.12 dan persamaan 4.1 dapat diketahui bahwa sistem akan dianalisa dalam bagian yang berbeda. Hal ini dikarenakan sistem *starboardbus* dan *portbus* memiliki dua sumber dan zona yang berbeda. Dengan demikian sistem akan 4.2.

**BIBC Starboard Bus**

(4.2a)

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \\ B_7 \\ B_8 \\ B_9 \\ B_{10} \\ B_{11} \\ B_{12} \\ B_{13} \\ B_{14} \\ B_{15} \\ B_{16} \\ B_{17} \\ B_{18} \\ B_{19} \\ B_{20} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \\ I_8 \\ I_9 \\ I_{10} \\ I_{11} \\ I_{12} \\ I_{13} \\ I_{14} \\ I_{15} \\ I_{16} \\ I_{17} \\ I_{18} \\ I_{19} \\ I_{20} \\ I_{21} \end{bmatrix}$$

**BIBC Port Bus**

(4.2b)

$$\begin{bmatrix} B_{22} \\ B_{23} \\ B_{24} \\ B_{25} \\ B_{26} \\ B_{27} \\ B_{28} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{23} \\ I_{24} \\ I_{25} \\ I_{26} \\ I_{27} \\ I_{28} \\ I_{29} \end{bmatrix}$$

**4.1.2. Branch-Current to Bus-Voltage Matrix (BCBV)**

Pembagian sistem distribusi menjadi starboard bus dan port bus saat penggunaan nomral juga berpengaruh pada bus voltage sistem. Bus Voltage sistem dapat didefinisikan menjadi dua bus votage yaitu bus voltage starboard, dan port bus. Bus voltage sistem dapat dilihat pada persamaan 4.3.

**Bus Voltage : Starboard bus**

(4.3a)

$$\begin{aligned} V_1 - V_2 &= B_1.Z_{1,2} \\ V_1 - V_3 &= B_2.Z_{1,3} \\ V_1 - V_4 &= B_1.Z_{1,2} + B_3.Z_{2,4} \\ V_1 - V_5 &= B_1.Z_{1,2} + B_4.Z_{2,5} \\ V_1 - V_6 &= B_1.Z_{1,2} + B_5.Z_{2,6} \\ V_1 - V_7 &= B_1.Z_{1,2} + B_6.Z_{2,7} \\ V_1 - V_8 &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} \\ V_1 - V_9 &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} + B_8.Z_{8,9} \\ V_1 - V_{10} &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} + B_9.Z_{8,10} \\ V_1 - V_{11} &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} + B_{10}.Z_{8,11} \\ V_1 - V_{12} &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} + B_{11}.Z_{8,12} \\ V_1 - V_{13} &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} + B_{12}.Z_{8,13} \\ V_1 - V_{14} &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} + B_{13}.Z_{8,14} \\ V_1 - V_{15} &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} + B_{14}.Z_{8,15} \\ V_1 - V_{16} &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} + B_{15}.Z_{8,16} \\ V_1 - V_{17} &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} + B_{10}.Z_{8,11} + B_{16}.Z_{11,17} \\ V_1 - V_{18} &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} + B_{10}.Z_{8,11} + B_{17}.Z_{11,18} \\ V_1 - V_{19} &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} + B_{10}.Z_{8,11} + B_{18}.Z_{11,19} \\ V_1 - V_{20} &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} + B_{10}.Z_{8,11} + B_{19}.Z_{11,20} \\ V_1 - V_{21} &= B_1.Z_{1,2} + B_7.Z_{2,8} + B_{10}.Z_{8,11} + B_{20}.Z_{11,21} \end{aligned}$$

**Bus Voltage : Port bus**

(4.3b)

$$\begin{aligned} V_{22} - V_{23} &= B_{22}.Z_{22,23} \\ V_{22} - V_{24} &= B_{22}.Z_{22,23} + B_{23}.Z_{23,24} \\ V_{22} - V_{25} &= B_{22}.Z_{22,23} + B_{24}.Z_{23,25} \\ V_{22} - V_{26} &= B_{22}.Z_{22,23} + B_{25}.Z_{23,26} \\ V_{22} - V_{27} &= B_{22}.Z_{22,23} + B_{26}.Z_{23,27} \\ V_{22} - V_{28} &= B_{22}.Z_{22,23} + B_{23}.Z_{23,25} + B_{27}.Z_{25,28} \\ V_{22} - V_{29} &= B_{22}.Z_{22,23} + B_{23}.Z_{23,25} + B_{28}.Z_{25,29} \end{aligned}$$

Dari persamaan 4.3 maka akan didapatkan matrix BCBV yang ditampilkan pada persamaan 4.4.

**4.1.3. DLF Matrix**

DLF matriks dapat didefinisikan dengan matriks BIBC dan BCBV melalui persamaan 2.16. Matriks sistem ditampilkan pada persamaan 4.5.

**4.1.4. Proses Iterasi**

Proses iterasi dilakukan dengan mengaplikasikan persamaan 6.12. Pengerjaan iterasi akan dikerjakan melalui software MATLAB yang ditampilkan pada lampiran.



(4.5a)

(4.5b)

0.00090200 + 0.0013838i	0.0000 + 0.0000i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i
0.0000 + 0.0000i	0.00098150 + 0.0013130i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
0.00090200 + 0.0013838i	0.0000 + 0.0000i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.0014430 + 0.0022398i	0.0014430 + 0.0022398i
0.00090200 + 0.0013838i	0.0000 + 0.0000i	0.00090200 + 0.0013838i	0.0038850 + 0.0022678i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i
0.00090200 + 0.0013838i	0.0000 + 0.0000i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.0097430 + 0.0022038i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i
0.00090200 + 0.0013838i	0.0000 + 0.0000i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.0021320 + 0.0035518i	0.0014430 + 0.0022398i
0.00090200 + 0.0013838i	0.0000 + 0.0000i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.00090200 + 0.0013838i	0.0014430 + 0.0022398i	0.0022630 + 0.0034978i	

#### 4.1.5. Hasil studi aliran daya

Dari hasil iterasi, maka didapatkan nilai tegangan pada setiap busnya. Iterasi dengan metode Network Topology Based akan dibandingkan dengan metode Newton Raphson sebagai perbandingan. Hasil iterasi ditampilkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1** Hasil penyelesaian studi aliran daya

No	ID BUS	LABEL	Network Topology Based	Newton Rapshon
1	BUS1	STARB_SYNC	380.0	380.0
2	BUS2	STARBOARD	378.2	377.8
3	BUS3	MOTOR_PROP_2	375.6	375.4
4	BUS4	ZONE 1	377.7	377.4
5	BUS5	ZONE 2	378.0	377.6
6	BUS6	ZONE 4	377.8	377.4
7	BUS7	ZONE 6	377.8	377.4
8	BUS8	ZONE 8	377.9	377.5
9	BUS9	DBLM BUS	377.8	377.4
10	BUS10	DBLN BUS	377.8	377.4
11	BUS11	BATT LOAD BUS	377.8	377.4
12	BUS12	DBLU BUS	377.8	377.3
13	BUS13	RADIO BUS	377.9	377.5
14	BUS14	NAV EQ 03 BUS	377.9	377.5
15	BUS15	NAVCOM BUS	377.9	377.4
16	BUS16	DBLB BUS	377.8	377.3
17	BUS17	DBDCN BUS	377.6	377.4
18	BUS18	DBDCU BUS	377.8	377.4
19	BUS19	NAV EQ 01 BUS	377.8	377.4
20	BUS20	DBNL BUS	377.7	377.3
21	BUS21	NAV EQ 02 BUS	377.8	377.5
22	BUS22	PORT_SYNC	380.0	380.0
23	BUS23	PORT BUS	378.3	378.1
24	BUS24	MOTOR_PROP_1	375.5	375.4
25	BUS25	ZONE 3	377.4	377.1
26	BUS26	ZONE 5	378.1	377.8
27	BUS27	ZONE 7	378.1	377.8
28	BUS28	HEALING PUMP	376.9	376.0
29	BUS29	CRANE	376.6	376.0

Dari Tabel 4.1. dapat diketahui bahwa metode Network Topology Based dan Newton Raphson memiliki nilai voltase yang hampir sama. Jumlah iterasi dengan metode network topology based adalah 3 kali iterasi. Drop tegangan terendah terjadi pada motor propulsi yaitu 375 V atau setara dengan 98% (dari batas toleransi 95% yang diatur oleh BKI).

Tinggi atau rendahnya suatu distribusi listrik dapat dipengaruhi oleh spesifikasi jaringan dan banyaknya beban yang digunakan. Spesifikasi jaringan terdiri atas panjang, dan dimensi konduktor yang kemudian mempengaruhi tahanan dan impedansi sebuah konduktor. Semakin rendah nilai tersebut maka drop tegangan menjadi lebih tinggi.

#### 4.1.6. Perbandingan distribusi tegangan sistem zonal dan sistem terpisah

Perbandingan distribusi tegangan sistem bertujuan untuk melihat nilai tegangan yang disuplai pada panel bus tertentu. Semakin rendah nilai drop tegangan atau semakin tinggi presentase distribusi tegangan maka jaringan sistem akan menjadi lebih baik. Drop tegangan akan mengakibatkan peralatan tidak beroperasi secara maksimal, bahkan mengalami kerusakan. Oleh karena itu, dalam peraturan klasifikasi disebutkan bahwa drop tegangan paling maksimal adalah 6% antara busbar utama dan beban, atau 10% apabila suplai baterai 50V atau lebih rendah (Biro Klasifikasi Indonesia, 2014).

Tabel 4.2. menampilkan perbandingan distribusi tegangan pada sistem eksisting (radial) dan sistem yang telah dimodifikasi atau perancangan ulang (zonal). Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa sistem zonal memiliki presentase distribusikan tegangan lebih tinggi (atau drop tegangan lebih rendah) dibandingkan dengan sistem zonal. Hal ini dikarenakan sistem zonal memiliki kombinasi generator yang digunakan pada setiap beban, dan juga zonasi beban yang mampu mereduksi panjang kabel dan menggantikannya dengan busbar utama (portside dan starboard). Kombinasi penggunaan generator,dan hasil reduksi panjang kabel membuat sistem mendistribusikan tegangan lebih optimal.

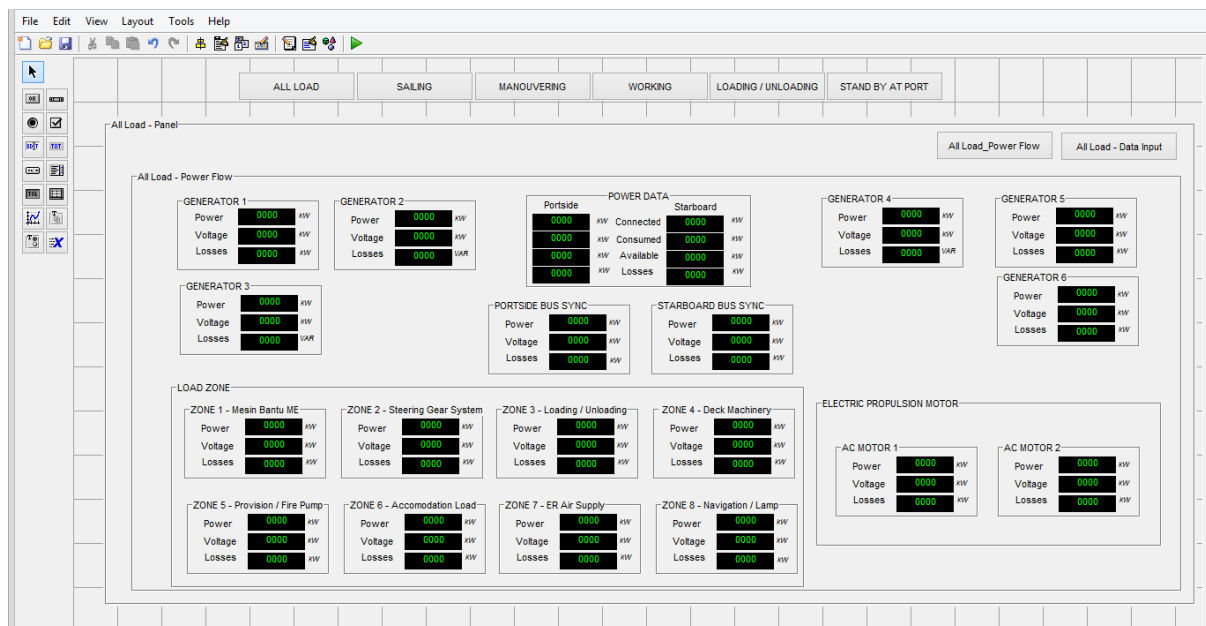
**Tabel 4. 2** Perbandingan antara distribusi tegangan pada sistem zonal dan sisem terpisah.

No.	LABEL	Tegangan pada sistem Radial (V)	Presentase Distribusi Tegangan Jaringan Radial (%)	Tegangan pada sistem Zonal (V)	Presentase Distribusi Tegangan Jaringan Zonal (%)
1	GENERATOR	380.0	100,00%	<b>380.0</b>	<b>100,00%</b>
2	BUS UTAMA	375.5	98,82%	<b>378.2</b>	<b>99,53%</b>
3	MOTOR_PROP	-	-	<b>375.6</b>	<b>98,84%</b>
4	BOW THRUSTER	376.0	98,95%	<b>377.8</b>	<b>99,42%</b>
5	BILGA / BALLAST	372.4	98,00%	<b>377.8</b>	<b>99,42%</b>
6	HEALING PUMP	367.6	96,74%	<b>376.9</b>	<b>99,18%</b>
7	CRANE	358.4	94,32%	<b>376.6</b>	<b>99,11%</b>
8	AHU	370.7	97,55%	<b>377.8</b>	<b>99,42%</b>
9	DBLM BUS	375.1	98,71%	<b>377.8</b>	<b>99,42%</b>
10	DBLN BUS	374.6	98,58%	<b>377.8</b>	<b>99,42%</b>
11	BATT LOAD BUS	375.2	98,74%	<b>377.8</b>	<b>99,42%</b>
12	DBLU BUS	375.0	98,68%	<b>377.8</b>	<b>99,42%</b>
13	RADIO BUS	375.0	98,68%	<b>377.9</b>	<b>99,45%</b>
14	NAVCOM BUS	375.2	98,74%	<b>377.9</b>	<b>99,45%</b>
15	DBLB BUS	374.7	98,61%	<b>377.8</b>	<b>99,42%</b>
16	DBDCN BUS	375.2	98,74%	<b>377.6</b>	<b>99,37%</b>
17	DBDCU BUS	375.2	98,74%	<b>377.8</b>	<b>99,42%</b>
18	DBNL BUS	374.9	98,66%	<b>377.8</b>	<b>99,42%</b>
19	NAV EQ 01 BUS	375.2	98,74%	<b>377.8</b>	<b>99,42%</b>
20	NAV EQ 02 BUS	375.2	98,74%	<b>377.8</b>	<b>99,42%</b>
21	NAV EQ 03 BUS	375.4	98,79%	<b>377.9</b>	<b>99,45%</b>

## 4.2. Pengembangan *User Interface*

Tujuan dari pengembangan *user interface* adalah untuk memudahkan pembaca untuk mengetahui drop tegangan yang terjadi pada sistem. *User interface* sistem dikembangkan dengan menggunakan Matlab. Pengembangan *user interface* diawali dengan membuat persamaan untuk setiap mode operasi. Kemudian setiap persamaan diintegrasikan melalui *graphic user interface* (GUI) Matlab.

Gambar 4.3. menunjukkan tampilan dari *interface* yang telah dikembangkan. Pada bagian atas sistem akan ditampilkan beberapa mode sesuai dengan mode operasi kapal. Mode tersebut terdiri dari *all load*, *sailing*, *manouvering*, *working*, *loading/unloading*, dan *stanby at port*. Pada tengah tampilan memperlihatkan informasi dari daya, dan tegangan untuk setiap bus baik untuk generator maupun beban. Apabila pengguna mengaktifkan salah satu mode operasi, maka secara otomatis sistem akan mengkalkulasikan mode operasi yang dimaksud, dan menampilkannya pada *interface* ini.



Gambar 4. 3 *User interface* studi aliran daya



### 4.3. Analisis manfaat

Analisa manfaat implementasi sistem distribusi zonal terbagi atas dua bagian, yaitu manfaat dari sisi keandalan sistem, dan manfaat dari pengoperasian kapal. Manfaat dari sisi keandalan dilakukan dengan metode *Fault Tree Analysis*. Dengan FTA, keandalan sistem eksisting dan sistem yang telah diperbaharui akan dapat dibandingkan secara kuantitatif. Sedangkan manfaat dari pengoperasian kapal yang didapatkan karena efek integrasi beban pada sistem zonal untuk meningkatkan efisiensi pendayaan pada mesin induk dan mesin bantu, khususnya pada penggunaan bahan bakar.

#### 4.3.1. Analisa pendekatan kegagalan dengan metode *Fault Tree Analysis*.

Pendekatan FTA akan dilakukan pada sistem zonal maupun pada sistem eksisting. Adapun parameter yang digunakan pada perhitungan FTA ditampilkan pada Tabel

**Tabel 4. 3** Parameter nilai kegagalan komponen

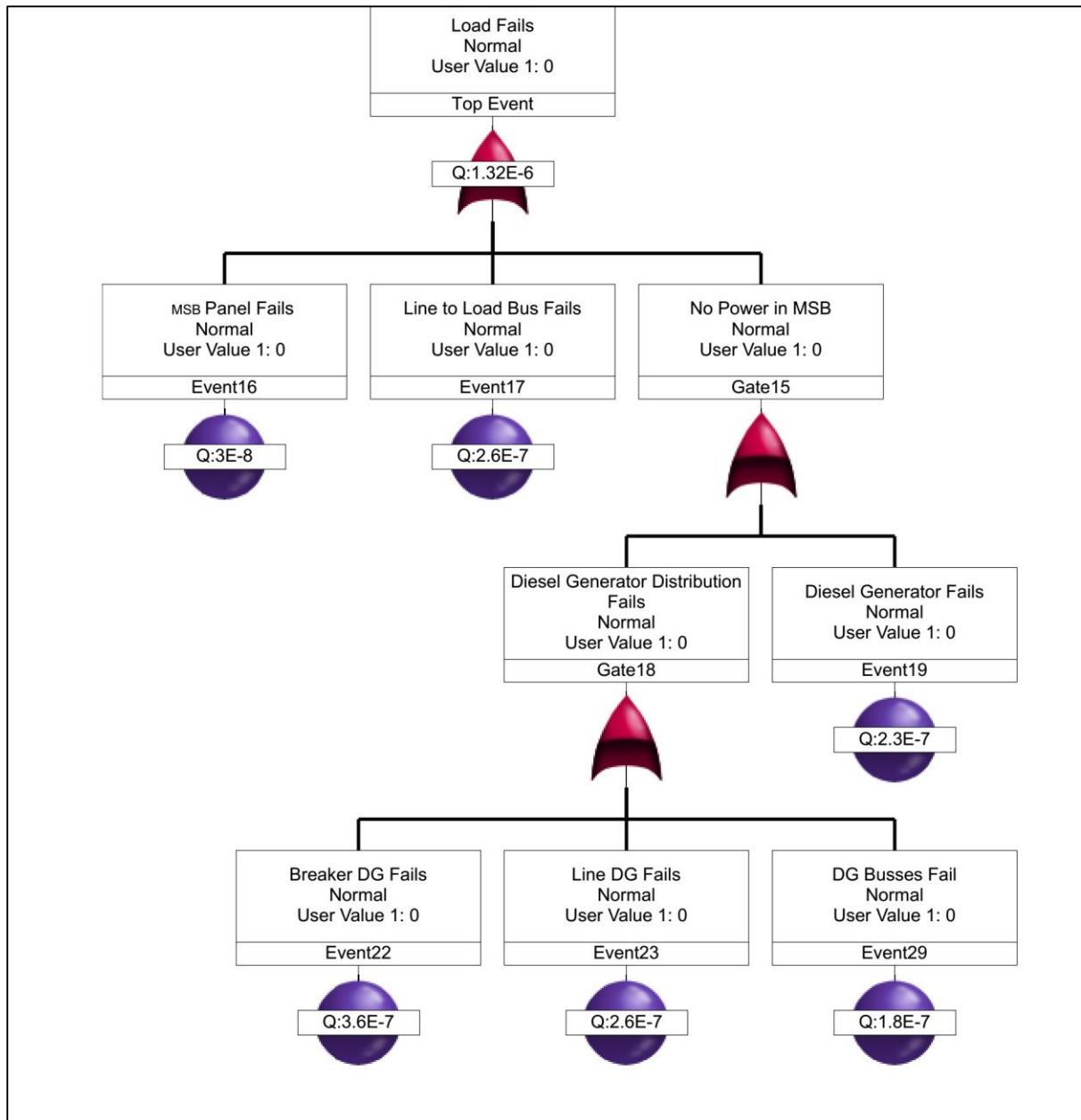
No.	Nama unit	Peluang kegagalan ( $10^{-7}$ )
1	Panel fails	0.3*
2	Line to load fails	2.6*
3	Diesel generator fails	2.3**
4	Breaker fails	3.6*
5	Line form generator fails	2.6*
6	Diesel busses fail	1.8*

\*) *International atomic energy agency, 1988*

\*\*) *Oreda, 2002*

#### 1) FTA dari sistem terpisah (eksisting)

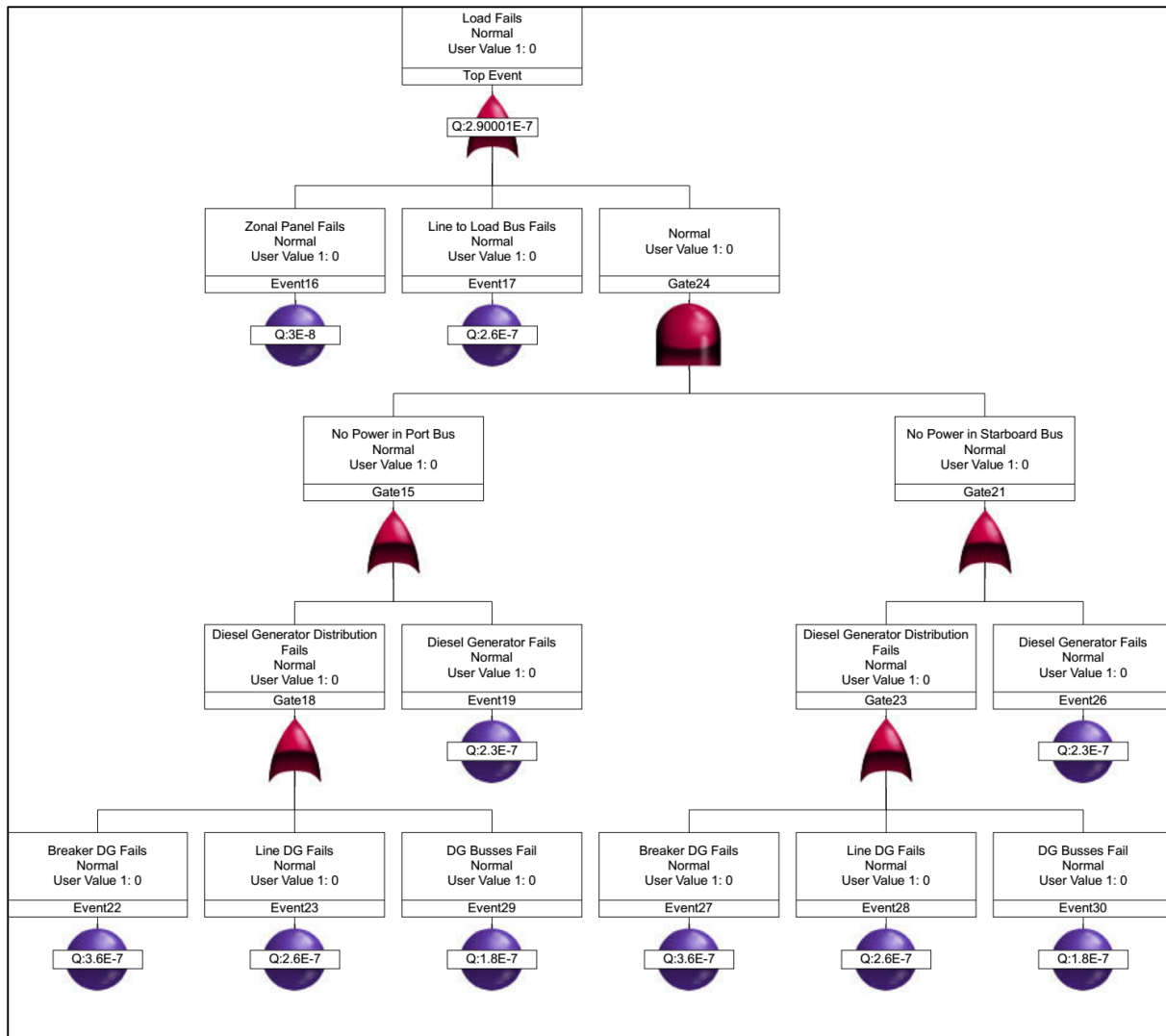
Dalam proses suplai menuju beban, sistem terpisah maupun radial menggunakan suplai daya dari unit *Main Switch Board* (MSB). Oleh karena itu, peluang kegagalan sistem distribusi akan terjadi apabila terjadinya kegagalan di MSB, jaringan menuju beban, atau tidak ada daya yang tersuplai di MSB. Tidak adanya daya pada MSB dapat dapat diturunkan menjadi adanya kegagalan pada sistem distribusi generator, atau kegagalan yang berasal dari generator itu sendiri. Pola kegagalan sistem eksisting dapat disederhanakan melalui FTA yang ditampilkan pada Gambar 4.4. Dengan analisis FTA didapatkan nilai kegagalan sistem distribusi eksisting adalah  $1.32 \times 10^{-6}$ .



**Gambar 4. 4** Diagram FTA dari sistem eksisting

## 2) FTA pada sistem zonal

Pada sistem distribusi zonal, satu unit zona beban memungkinkan untuk disuplai dari portbus maupun starboard bus. Oleh karena itu, satu unit zona beban dapat dikatakan gagal apabila kedua bus utama mengalami kegagalan, atau gagalnya sistem distribusi pada zona beban itu sendiri. Dengan skenario kegagalan ini, maka akan didapatkan nilai kegagalan sistem pada  $2.9 \times 10^{-7}$ , atau empat kali lebih baik dibandingkan sistem eksisting. Diagram FTA untuk sistem zonal ditampilkan pada gambar 4.5.



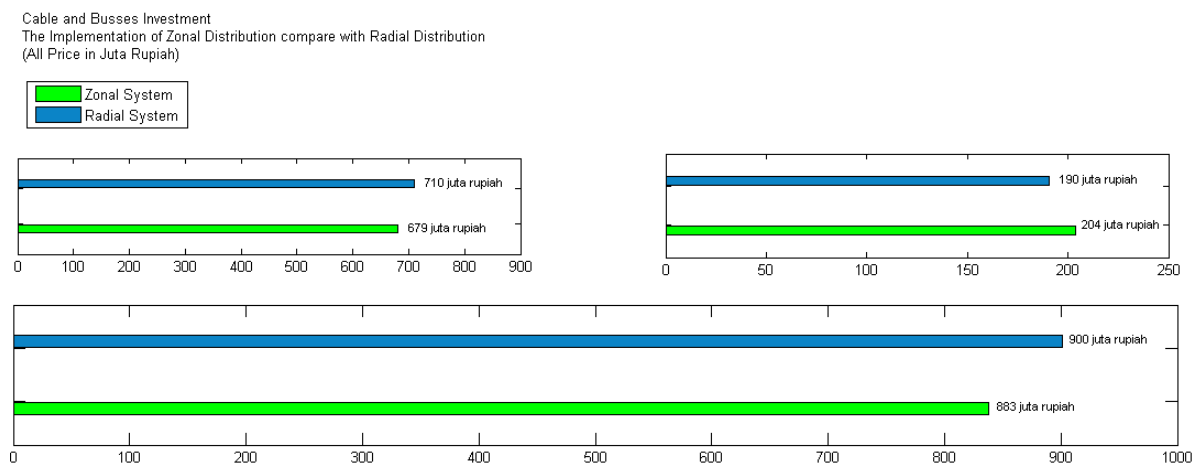
**Gambar 4. 5** Diagram FTA sistem distribusi zonal.

#### 4.3.2. Perbandingan Biaya Investasi sistem radial dan zonal pada propulsi mekanis.

Studi ini menampilkan perbandingan biaya antara sistem radial dan zonal dengan sistem propulsi mekanis. Perbedaan sistem terdiri atas Kabel dan Bus. Pada sistem radial, pengeluaran untuk kabel dan bus adalah 900 juta rupiah, dibandingkan dengan zonal 883 juta rupiah. Meskipun membutuhkan Busbar yang lebih banyak, sistem zonal mampu mereduksi jumlah kabel yang digunakan sehingga dalam totalnya mengurangi biaya investasi sistem (7%). Rincian biaya investasi sistem ditampilkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.6.

**Tabel 4. 4.** Perbandingan nilai investasi antara sistem radial dan zonal dengan sistem propulsi mekanis

Item Investasi	Sistem Radial Propulsi Mekanis	Sistem Zonal Propulsi Mekanis
Cable	710.400.000	679.620.000
Bus	190.372.000	204.009.000
<b>Total</b>	<b>900.772.000</b>	<b>883.629.000</b>



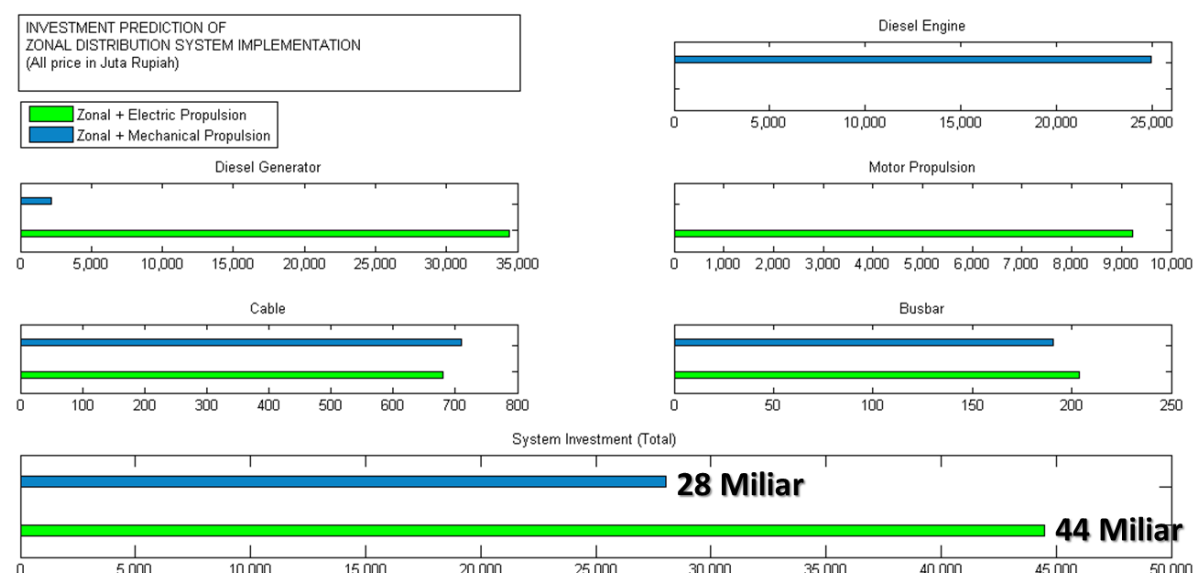
**Gambar 4. 6** Perbandingan nilai investasi kabel dan busbar pada sistem radial dan zonal dengan propulsi mekanis.

#### 4.3.3. Perbandingan Biaya Investasi sistem radial dan zonal pada sistem propulsi mekanis dan elektrik.

Pada umumnya kapal yang menggunakan sistem distribusi zonal mengadopsi sistem propulsi elektrik. Selain memberikan nilai keandalan yang lebih baik, sistem propulsi elektrik pada sistem zonal juga memberikan fleksibilitas penggunaan daya. Meskipun demikian, penggunaan sistem propulsi akan membuat biaya investasi awal menjadi lebih besar. Dari Tabel 4.5., dan Gambar 4.7. biaya investasi awal menjadi meningkat akibat dari pengadaan generator dan motor listrik. Dengan sistem zonal propulsi elektrik, biaya investasi meningkat dari 28 miliar rupiah menjadi 44,48 miliar rupiah. Detail perhitungan biaya ditampilkan pada Lampiran 5.

**Tabel 4. 5** Perbandingan biaya investasi antara sistem propulsi mekanis dan propulsi elektrik

Item Investasi	Sistem Radial + Propulsi Mekanis	Sistem Zonal + Propulsi Mekanis	Sistem Zonal + Propulsi Elektrik
Diesel Engine	24.960.000.000	24.960.000.000	-
Diesel Generator	2.184.000.000	2.184.000.000	34.388.120.000
Electric Motor	-	-	9.217.260.000
Cable	710.400.000	679.620.000	679.620.000
Bus	190.372.000	204.009.000	204.009.000
<b>Total</b>	<b>28.044.772.000</b>	<b>28.027.629.000</b>	<b>44.489.009.000</b>



**Gambar 4. 7** Prediksi biaya investasi apabila menggunakan sistem zonal propulsi elektrik.

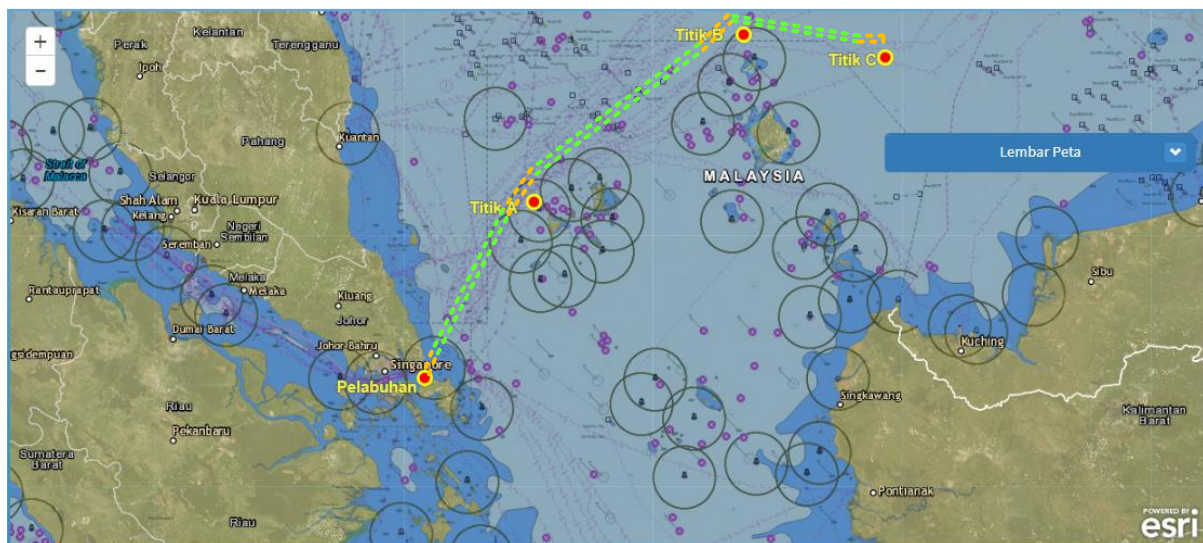
#### 4.5. Analisis manfaat dan biaya operasional

Dalam studi sebelumnya, terdapat tiga opsi dari desain sistem yaitu, sistem radial propulsi mekanis, sistem zonal propulsi mekanis, dan sistem zonal propulsi elektris. Untuk membandingkan setiap kombinasi sistem diperlukan analisa manfaat dan biaya pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh antara biaya investasi yang dikeluarkan dengan manfaat yang didapatkan.

Metode yang digunakan adalah metode cashflow. Dikarenakan kapal yang diteliti merupakan kapal khusus, maka aliran biaya yang dihitung hanya biaya pengeluaran investasi dan biaya operasional.

##### 4.5.1. Analisis Mode Operasi

Untuk mengetahui biaya operasional kapal, pada penelitian ini diasumsikan kapal yang kami teliti beroperasi perairan kepulauan riau. Kapal akan bermarkas di Batam, Kepulauan Riau, dan beroperasi selama 77 jam per operasi. Operasi akan dilakukan dua bulan sekali (24 kali operasi per tahun). Simulasi mode operasi kapal ditampilkan pada Gambar 4.8.



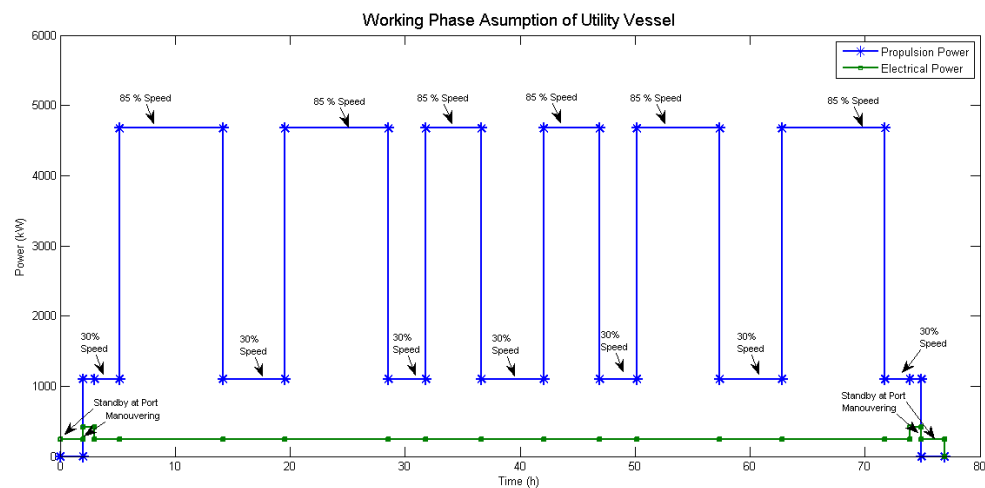
**Gambar 4. 8** Simulasi mode operasi kapal

Dari Gambar 4.8 diketahui bahwa kapal mulai beroperasi di pelabuhan dalam kondisi mesin mati kemudian mesin kapal dihidupkan masih dalam kondisi standby dan bersiap untuk berangkat. Keberangkatan kapal dimulai dengan manuver kapal diarea kolam pelabuhan, berlayar dilokasi kerja dengan variasi daya 30%, dan daya 85%, serta kembali ke pelabuhan.

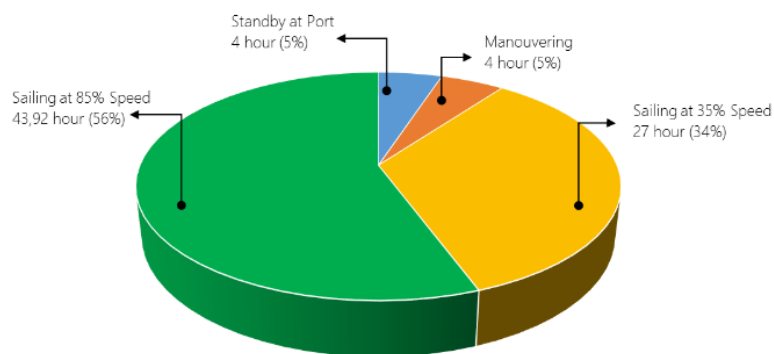
Adapun jarak tempuh dan waktu yang diperlukan untuk setiap tahapan mode operasi ditampilkan pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.9.

**Tabel 4. 6** Informasi data kecepatan, jarak, dan waktu dalam satu kali operasi

No	Operation Mode	Speed (knot)	Distance (km)	Time (h)	Mechanical Load	Electrical Load
1	Standby at port	0	0	2,00	0	236
2	Manouvering at port	2	0	1,00	1100	420
3	Sailing at 20% load	5	20	2,16	1100	236
4	Sailing at 85% load	15	250	9,00	4675	236
5	Sailing at 20% load	5	50	5,40	1100	236
6	Sailing at 85% load	15	250	9,00	4675	236
7	Sailing at 20% load	5	30	3,24	1100	236
8	Sailing at 85% load	15	135	4,86	4675	236
9	Sailing at 20% load	5	50	5,40	1100	236
10	Sailing at 85% load	15	135	4,86	4675	236
11	Sailing at 20% load	5	30	3,24	1100	236
12	Sailing at 85% load	15	200	7,20	4675	236
13	Sailing at 20% load	5	50	5,40	1100	236
14	Sailing at 85% load	15	250	9,00	4675	236
15	Sailing at 20% load	5	20	2,16	1100	236
16	Manouvering at port	2	0	1,00	1100	420
17	Standby at port	0	0	2,00	0	236
<b>TOTAL</b>			<b>1,470</b>	<b>76,91</b>		



(a)



(b)

**Gambar 4. 9** (a) Pola kebutuhan daya dalam satu fase pengoperasian; (b) presentasi waktu mode operasi

#### 4.5.2. Analisis penggunaan bahan bakar

Daftar mode operasi kapal dibagi menjadi dua sistem yaitu sistem propulsi mekanis dan sistem propulsi elektrik. Pada sistem mekanis, mesin utama akan dioperasikan secara kontinu. Sedangkan pada sistem propulsi elektrik, sistem pendayaan akan dikonfigurasi sesuai dengan daya yang dibutuhkan. Dasar perhitungan konsumsi bahan bakar akan didasari dengan karakteristik konsumsi bahan bakar yang didapatkan dari buku panduan mesin. Konsumsi bahan bakar mesin akan disesuaikan bebannya yaitu *full load* (75 – 100%), *medium load* (50 – 75%), dan *low load* (< 50%). Karakteristik penggunaan bahan bakar ditampilkan pada Tabel

Masing – masing mesin diesel memiliki karakteristik penggunaan bahan bakar yang berbeda yaitu pada saat full load, medium load, dan low load.

**Tabel 4. 7** Karakteristik penggunaan bahan bakar

Daya	Fuel Consumption (L/h)		
	100 - 75 (%)	75 - 50 (%)	< 50 (%)
2750 kW	688,10	566,80	347,10
250 kW	69,40	53,90	38,50
1500 kW	327,00	179,00	119,00
750 kW	182,20	113,40	89,90
Caterpillar Engine			

Pada proses perhitungan bahan bakar, konsumsi bahan bakar yang ditampilkan pada Tabel 4.6 akan dikalikan dengan jumlah waktu penggunaan mesin tersebut. Perkalian waktu juga memperhitungkan konfigurasi penggunaan mesin. Konfigurasi pembangkit daya akan disebut sebagai *Unit commitment*. Pada sistem propulsi mekanis, mesin diesel akan beroperasi secara terus menerus sesuai dengan rating dayanya. Unit commitment pada propulsi mekanis ditampilkan pada Tabel 4.7.

**Tabel 4. 8** Perhitungan bahan bakar pada sistem propulsi mekanis

UNIT COMMITMENT – PROPULSI MEKANIS									
No	Operation Mode	Fuel Consumption - DIESEL ENGINE			Fuel Consumption - GENERATOR				Total Fuel Consumption
		% Load	Unit 1 (ton)	Unit 1 (ton)	% Load	Unit 1 (ton)	Unit 1 (ton)	Total (Liter)	Total (Liter)
1	Standby at port	0%	0,00	0,00	94%	107,80	0,00	107,80	107,80
2	Manouvering at port	20%	347,10	347,10	84%	53,90	53,90	107,80	802,00
3	Sailing at 20% load	20%	749,68	749,68	94%	116,41	0,00	116,41	1.615,77
4	Sailing at 85% load	85%	6192,40	6192,40	94%	485,06	0,00	485,06	12.869,87
5	Sailing at 20% load	20%	1874,19	1874,19	94%	291,04	0,00	291,04	4.039,42
6	Sailing at 85% load	85%	6192,40	6192,40	94%	485,06	0,00	485,06	12.869,87
7	Sailing at 20% load	20%	1124,51	1124,51	94%	174,62	0,00	174,62	2.423,65
8	Sailing at 85% load	85%	3343,90	3343,90	94%	261,93	0,00	261,93	6.949,73
9	Sailing at 20% load	20%	1874,19	1874,19	94%	291,04	0,00	291,04	4.039,42
10	Sailing at 85% load	85%	3343,90	3343,90	94%	261,93	0,00	261,93	6.949,73
11	Sailing at 20% load	20%	1124,51	1124,51	94%	174,62	0,00	174,62	2.423,65
12	Sailing at 85% load	85%	4953,92	4953,92	94%	388,05	0,00	388,05	10.295,90
13	Sailing at 20% load	20%	1874,19	1874,19	94%	291,04	0,00	291,04	4.039,42
14	Sailing at 85% load	85%	6192,40	6192,40	94%	485,06	0,00	485,06	12.869,87
15	Sailing at 20% load	20%	749,68	749,68	94%	116,41	0,00	116,41	1.615,77
16	Manouvering at port	20%	347,10	347,10	84%	53,90	53,90	107,80	802,00
17	Standby at port	0%	0,00	0,00	94%	107,80	0,00	107,80	107,80
TOTAL									84.821,65

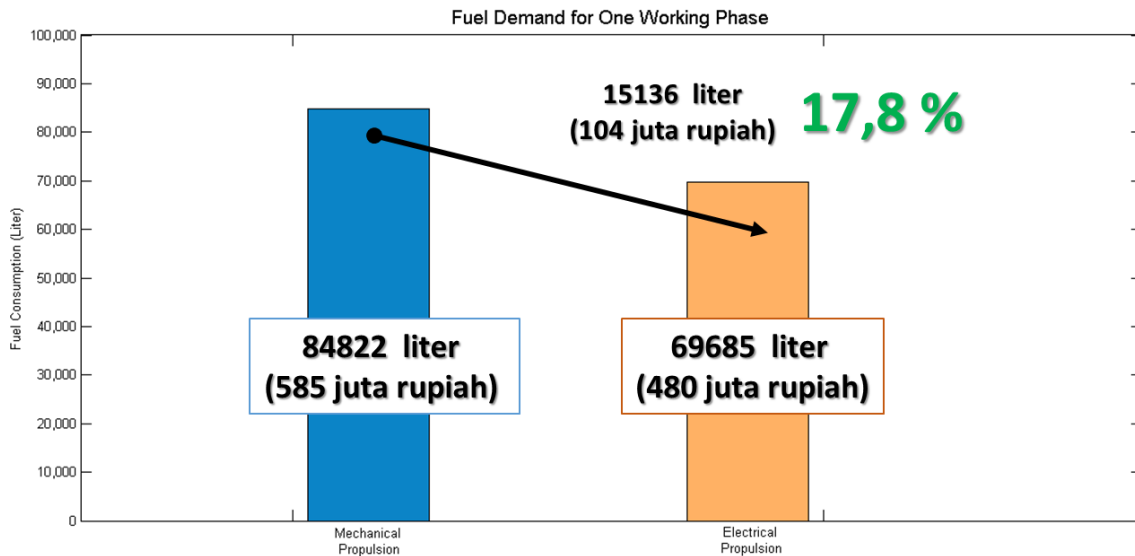


Pada sistem propulsi listrik, penggunaan pembangkit daya disesuaikan dengan kebutuhan dari sistem propulsi. Oleh karena itu, proses perhitungan daya juga akan memperhitungkan banyaknya pembangkit yang bekerja dalam satu waktu. Tabel 4.8 menampilkan perhitungan bahan bakar pada sistem propulsi listrik.

**Tabel 4. 9** Perhitungan bahan bakar pada sistem propulsi listrik.

UNIT COMMITMENT – PROPULSI ELEKTRIS									
No	Operation Mode	Fuel Consumption - GENERATOR							Total Fuel Consumption
		% Load	Fuel Consumption Unit 1 (1500 kW)	Fuel Consumption Unit 2 (1500 kW)	Fuel Consumption Unit 3 (750 kW)	Fuel Consumption Unit 4 (750 kW)	Fuel Consumption Unit 5 (750 kW)	Fuel Consumption Unit 6 (750 kW)	Total (Liter)
1	Standby at port	31%	0,00	0,00	229,20	0,00	0,00	0,00	229,20
2	Maneuvering at port	68%	324,09	0,00	169,90	0,00	0,00	0,00	493,99
3	Sailing at 20% load	89%	658,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	658,42
4	Sailing at 85% load	82%	2194,73	2194,73	1552,92	1552,92	1552,92	1552,92	10.601,13
5	Sailing at 20% load	89%	3292,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.292,10
4	Sailing at 85% load	82%	2194,73	2194,73	1552,92	1552,92	1552,92	1552,92	10.601,13
5	Sailing at 20% load	89%	987,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	987,63
4	Sailing at 85% load	82%	1481,45	1481,45	1048,22	1048,22	1048,22	1048,22	7.155,76
3	Sailing at 20% load	89%	1646,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.646,05
4	Sailing at 85% load	82%	1481,45	1481,45	1048,22	1048,22	1048,22	1048,22	7.155,76
5	Sailing at 20% load	89%	987,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	987,63
4	Sailing at 85% load	82%	2194,73	2194,73	1552,92	1552,92	1552,92	1552,92	10.601,13
5	Sailing at 20% load	89%	3292,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.292,10
4	Sailing at 85% load	82%	2194,73	2194,73	1552,92	1552,92	1552,92	1552,92	10.601,13
3	Sailing at 20% load	89%	658,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	658,42
12	Maneuvering at port	68%	324,09	0,00	169,90	0,00	0,00	0,00	493,99
14	Standby at port	31%	0,00	0,00	229,20	0,00	0,00	0,00	229,20
TOTAL									69.684,78

Dari Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 diketahui bahwa pada sistem mekanis, bahan bakar yang dibutuhkan untuk satu pengoperasian adalah 84,822 liter atau setara dengan 585 juta rupiah. Sedangkan pada sistem propulsi listrik penggunaan bahan bakar sistem adalah 69,685 liter atau setara dengan 480 juta rupiah pada harga bahan bakar 6,900 rupiah per liter. Dari kedua sistem tersebut didapatkan bahwa penghematan dengan sistem propulsi listrik adalah sebesar 17,8%, 15,138 liter atau setara dengan 104 juta rupiah (Gambar 4.10).



**Gambar 4. 10** Perbandingan biaya investasi sistem propulsi mekanis dan elektrik.

#### 4.5.3. Perhitungan analisis manfaat dan biaya.

Pada bagian ini, tiga kombinasi sistem yang akan dianalisa adalah penerapan sistem radial propulsi mekanis (eksisting), sistem zonal propulsi mekanis, dan sistem zonal propulsi elektrik. Dalam membuat pendekatan manfaat dan biaya dalam hal investasi dan biaya operasi, diperlukan beberapa asumsi perhitungan. Asumsi perhitungan ditampilkan pada Tabel 4.9. Asumsi tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan. Adapun perhitungan biaya pengeluaran investasi dan operasi ditampilkan pada Tabel 4.9 (Sistem Radial – Propulsi elektrik), Tabel 4.10 (Sistem Zonal – Propulsi mekanis), dan Tabel 4.11 (Sistem Zonal – propulsi elektrik).

**Tabel 4. 10** Parameter perhitungan biaya investasi dan operasional

<b>ASUMSI</b>			
Jumlah hari kerja			
Jumlah hari operasi kapal		24 kali operasi	
Inflasi			
		2%	
Investasi Sistem Radial Propulsi Mekanis			
Diesel Engine	24.960.000.000,00		
Diesel Generator	2.184.000.000,00		
Electric Motor	-		
Power Distribution: Cable	710.400.000,00		
Power Distribution: Bus	190.372.000,00		
<b>Total</b>	<b>28.044.772.000,00</b>		
Investasi Sistem Zonal Propulsi Mekanis			
Diesel Engine	24.960.000.000,00		
Diesel Generator	2.184.000.000,00		
Electric Motor	-		
Power Distribution: Cable	679.620.000,00		
Power Distribution: Bus	204.009.000,00		
<b>Total</b>	<b>28.027.629.000,00</b>		
Investasi Sistem Zonal Propulsi Elektris			
Diesel Engine	-		
Diesel Generator	34.388.120.000,00		
Electric Motor	9.217.260.000,00		
Power Distribution: Cable	679.620.000,00		
Power Distribution: Bus	204.009.000,00		
<b>Total</b>	<b>44.489.009.000,00</b>		
Kebutuhan Operasi ( <i>satu kali pelayaran per hari</i> )			
Bahan Bakar - Radial Propulsi Mekanis	84.822 liter per operasi		
Bahan Bakar - Zonal Propulsi Mekanis	84.822 liter per operasi		
Bahan Bakar - Zonal Propulsi Elektris	69.685 liter per operasi		
Kebutuhan Pelumas	20 cb.m / pertahun		
Kebutuhan Air Bersih	10,00 Ton per operasi		
Tarif			
Bahan Bakar Diesel	Rp	6.900 per liter	
Pelumas	Rp	24.000 per liter	
Air Bersih		20.000,00 per ton	
Jumlah Kru			
Nahkoda		1 orang	
Mualim		4 orang	
Operator Radio		4 orang	
Serang		9 orang	
Juru Mudi		3 orang	
Koki		2 orang	
Teknisi		15 orang	
Gaji Kru			
Gaji Nahkoda per bulan	Rp	10.000.000 per orang	
Gaji Mualim per bulan	Rp	7.500.000 per orang	
Gaji Operator Radio per bulan	Rp	6.500.000 per orang	
Gaji Serang per bulan	Rp	5.000.000 per orang	
Gaji Juru Mudi per bulan	Rp	5.000.000 per orang	
Gaji Koki per bulan	Rp	3.500.000 per orang	
Gaji Teknisi per bulan	Rp	5.000.000 per orang	

**Tabel 4. 11** Perhitungan biaya investasi dan operasional : Sistem Radial – Propulsi Mekanis

**RADIAL - PROPULSI MEKANIS**

No	Uraian	Tahun					
		0	1	5	10	15	20
<b>1 Investasi</b>							
Diesel Engine	24.960.000.000,00						
Diesel Generator	2.184.000.000,00						
Electric Motor	-						
Power Distribution: Cable	710.400.000,00						
Power Distribution: Bus	190.372.000,00						
<i>Total Biaya Infestasi</i>	<i>28.044.772.000,00</i>						
<b>2 Beban Operasional</b>							
Bahan Bakar							
Tarif	6.900,00	7.468,78	8.246,14	9.104,40	10.052,00	11.098,22	
Kebutuhan liter per tahun	2.035.719,64	2.035.719,64	2.035.719,64	2.035.719,64	2.035.719,64	2.035.719,64	
Biaya Bahan Bakar per tahun	14.046.465.544,02	15.204.346.039,18	16.786.826.587,06	18.534.012.981,43	20.463.047.939,05	22.592.858.404,47	
Pelumas							
Tarif	24.000,00	25.978,37	28.682,22	31.667,49	34.963,47	38.602,49	
Kebutuhan liter per tahun	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	
Biaya Pelumas per Tahun	480.000.000,00	519.567.436,80	573.644.432,94	633.349.806,27	699.269.362,81	772.049.879,75	
Air Bersih							
Tarif rupiah per Kg	20.000,00	21.648,64	23.901,85	26.389,58	29.136,22	32.168,74	
Kebutuhan per tahun	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	
Biaya Air Bersih per tahun	4.800.000,00	5.195.674,37	5.736.444,33	6.333.498,06	6.992.693,63	7.720.498,80	
Gaji Pegawai							
Nahkoda	120.000.000,00	129.891.859,20	143.411.108,23	158.337.451,57	174.817.340,70	193.012.469,94	
Mualim	360.000.000,00	389.675.577,60	430.233.324,70	475.012.354,70	524.452.022,11	579.037.409,81	
Operator Radio	312.000.000,00	337.718.833,92	372.868.881,41	411.677.374,08	454.525.085,83	501.832.421,84	
Serang	540.000.000,00	584.513.366,40	645.349.987,06	712.518.532,05	786.678.033,17	868.556.114,72	
Juru Mudi	180.000.000,00	194.837.788,80	215.116.662,35	237.506.177,35	262.226.011,06	289.518.704,91	
Koki	84.000.000,00	90.924.301,44	100.387.775,76	110.836.216,10	122.372.138,49	135.108.728,96	
Teknisi	900.000.000,00	974.188.944,00	1.075.583.311,76	1.187.530.886,76	1.311.130.055,28	1.447.593.524,53	
Total Gaji per tahun	2.496.000.000,00	2.701.750.671,36	2.982.951.051,28	3.293.418.992,60	3.636.200.686,63	4.014.659.374,69	
<i>Total Beban Operasional</i>	<i>17.027.265.544,02</i>	<i>18.430.859.821,70</i>	<i>20.349.158.515,61</i>	<i>22.467.115.278,36</i>	<i>24.805.510.682,12</i>	<i>27.387.288.157,70</i>	
<b>3 Beban Perawatan dan Docking</b>							
Biaya perawatan (5% investasi)	1.402.238.600,00	1.517.828.156,63	1.675.804.930,30	1.850.224.053,45	2.042.796.859,03	2.255.412.796,89	
<b>BIAYA PENGELUARAN PERTAHUN</b>	<b>28.044.772.000,00</b>	<b>18.429.504.144,02</b>	<b>19.948.687.978,34</b>	<b>22.024.963.445,91</b>	<b>24.317.339.331,81</b>	<b>26.848.307.541,15</b>	<b>29.642.700.954,60</b>
<b>AKUMULASI BIAYA PERTAHUN</b>	<b>28.044.772.000,00</b>	<b>46.474.276.144,02</b>	<b>123.952.651.694,35</b>	<b>229.842.700.540,50</b>	<b>346.753.870.721,45</b>	<b>475.833.249.397,88</b>	<b>618.347.313.483,50</b>

**Tabel 4. 12** Perhitungan biaya investasi dan operasional : Sistem Zonal – Propulsi Mekanis

**ZONAL - PROPULSI MEKANIS**

No	Uraian	Tahun					
		0	1	5	10	15	25
<b>1 Investasi</b>							
Diesel Engine	2496000000,00						
Diesel Generator	2184000000,00						
Electric Motor	0,00						
Power Distribution: Cable	679620000,00						
Power Distribution: Bus	204009000,00						
<i>Total Biaya Infestasi</i>	<i>28027629000,00</i>						
<b>2 Beban Operasional</b>							
Bahan Bakar							
Tarif	6900,00	7468,78	8246,14	9104,40	10052,00	11098,22	
Kebutuhan liter per tahun	2035719,64	2035719,64	2035719,64	2035719,64	2035719,64	2035719,64	
Biaya Bahan Bakar per tahun	14046465544,02	15204346039,18	16786826587,06	18534012981,43	20463047939,05	22592858404,47	
Pelumas							
Tarif	24000,00	25978,37	28682,22	31667,49	34963,47	38602,49	
Kebutuhan liter per tahun	20000,00	20000,00	20000,00	20000,00	20000,00	20000,00	
Biaya Pelumas per Tahun	480000000,00	519567436,80	573644432,94	633349806,27	699269362,81	772049879,75	
Air Bersih							
Tarif rupiah per Kg	20000,00	21648,64	23901,85	26389,58	29136,22	32168,74	
Kebutuhan per tahun	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	
Biaya Air Bersih per tahun	4800000,00	5195674,37	5736444,33	6333498,06	6992693,63	7720498,80	
Gaji Pegawai							
Nahkoda	120000000,00	129891859,20	143411108,23	158337451,57	174817340,70	193012469,94	
Mualim	360000000,00	389675577,60	430233324,70	475012354,70	524452022,11	579037409,81	
Operator Radio	312000000,00	337718833,92	372868881,41	411677374,08	454525085,83	501832421,84	
Serang	540000000,00	584513366,40	645349987,06	712518532,05	786678033,17	868556114,72	
Juru Mudi	180000000,00	194837788,80	215116662,35	237506177,35	262226011,06	289518704,91	
Koki	84000000,00	90924301,44	100387775,76	110836216,10	122372138,49	135108728,96	
Teknisi	900000000,00	974188944,00	1075583311,76	1187530886,76	1311130055,28	1447593524,53	
Total Gaji per tahun	2496000000,00	2701750671,36	2982951051,28	3293418992,60	3636200686,63	4014659374,69	
<i>Total Beban Operasional</i>	<i>17027265544,02</i>	<i>18430859821,70</i>	<i>20349158515,61</i>	<i>22467115278,36</i>	<i>24805510682,12</i>	<i>27387288157,70</i>	
<b>3 Beban Perawatan dan Docking</b>							
Biaya perawatan (5% investasi)		1401381450,00	1516900349,91	1674780556,70	1849093062,23	2041548153,33	2254034124,90
<b>BIAYA PENGELUARAN PERTAHUN</b>	28027629000,00	18428646994,02	19947760171,61	22023939072,31	24316208340,59	26847058835,46	29641322282,61
<b>AKUMULASI BIAYA PERTAHUN</b>	28027629000,00	46456275994,02	123931048051,33	229816171987,15	346721904669,14	475795279907,35	618302715712,10

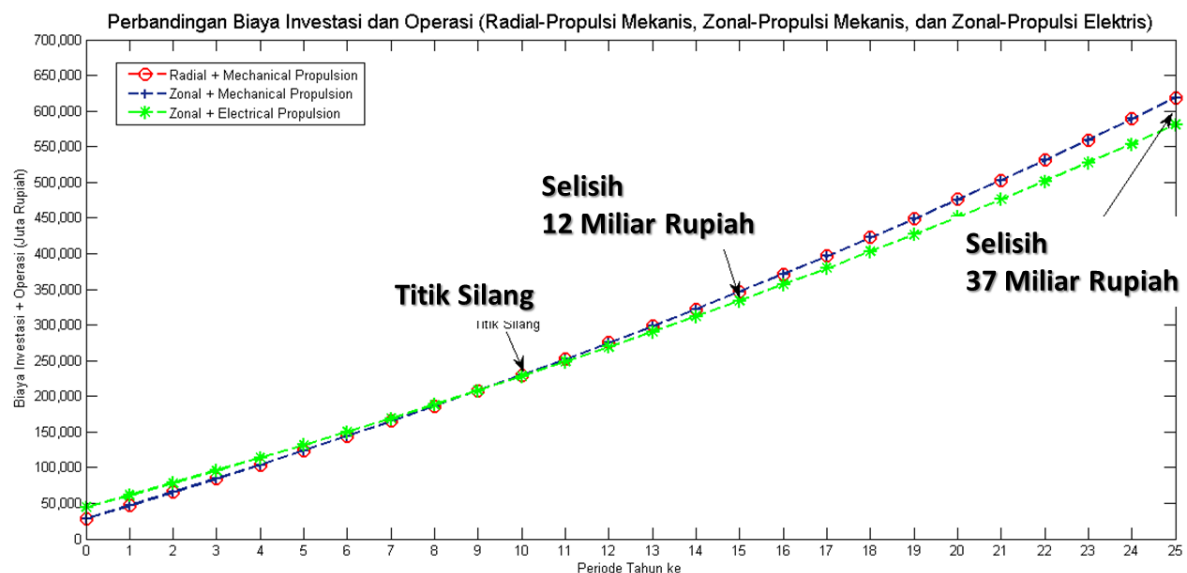
**Tabel 4. 13** Perhitungan biaya investasi dan operasional: Zonal Propulsi Elektris

**ZONAL PROPULSI ELEKTRIS**

No	Uraian	Tahun						
		0	1	5	10	15	20	25
<b>1 Investasi</b>								
	Diesel Engine	-						
	Diesel Generator	34.388.120.000,00						
	Electric Motor	9.217.260.000,00						
	Power Distribution: Cable	679.620.000,00						
	Power Distribution: Bus	204.009.000,00						
	Total Biaya Investasi	44.489.009.000,00						
<b>2 Beban Operasional</b>								
	Bahan Bakar							
	Tarif		6.900,00	7.468,78	8.246,14	9.104,40	10.052,00	11.098,22
	Kebutuhan liter per tahun		1.672.434,69	1.672.434,69	1.672.434,69	1.672.434,69	1.672.434,69	1.672.434,69
	Biaya Bahan Bakar per tahun		11.539.799.360,41	12.491.049.947,65	13.791.128.459,02	15.226.520.186,07	16.811.308.636,97	18.561.043.142,75
	Pelumas							
	Tarif		24.000,00	25.978,37	28.682,22	31.667,49	34.963,47	38.602,49
	Kebutuhan liter per tahun		20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00
	Biaya Pelumas per Tahun		480.000.000,00	519.567.436,80	573.644.432,94	633.349.806,27	699.269.362,81	772.049.879,75
	Air Bersih							
	Tarif rupiah per Kg		20.000,00	21.648,64	23.901,85	26.389,58	29.136,22	32.168,74
	Kebutuhan per tahun		240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00
	Biaya Air Bersih per tahun		4.800.000,00	5.195.674,37	5.736.444,33	6.333.498,06	6.992.693,63	7.720.498,80
	Gaji Pegawai							
	Nahkoda		120.000.000,00	129.891.859,20	143.411.108,23	158.337.451,57	174.817.340,70	193.012.469,94
	Mualim		360.000.000,00	389.675.577,60	430.233.324,70	475.012.354,70	524.452.022,11	579.037.409,81
	Operator Radio		312.000.000,00	337.718.833,92	372.868.881,41	411.677.374,08	454.525.085,83	501.832.421,84
	Serang		540.000.000,00	584.513.366,40	645.349.987,06	712.518.532,05	786.678.033,17	868.556.114,72
	Juru Mudi		180.000.000,00	194.837.788,80	215.116.662,35	237.506.177,35	262.226.011,06	289.518.704,91
	Koki		84.000.000,00	90.924.301,44	100.387.775,76	110.836.216,10	122.372.138,49	135.108.728,96
	Teknisi		900.000.000,00	974.188.944,00	1.075.583.311,76	1.187.530.886,76	1.311.130.055,28	1.447.593.524,53
	Total Gaji per tahun		2.496.000.000,00	2.701.750.671,36	2.982.951.051,28	3.293.418.992,60	3.636.200.686,63	4.014.659.374,69
	Total Beban Operasional		14.520.599.360,41	15.717.563.730,18	17.353.460.387,57	19.159.622.483,00	21.153.771.380,04	23.355.472.895,99
<b>3 Beban Perawatan</b>								
	Biaya perawatan (5% dari investasi)		2.224.450.450,00	2.407.816.705,41	2.658.424.202,06	2.935.115.128,26	3.240.604.268,29	3.577.888.963,39
<b>BIAYA PENGELUARAN PERTAHUN</b>								
		44.489.009.000,00	16.745.049.810,41	18.125.380.435,59	20.011.884.589,63	22.094.737.611,26	24.394.375.648,34	26.933.361.859,38
<b>AKUMULASI BIAYA PERTAHUN</b>								
		44.489.009.000,00	61.234.058.810,41	131.630.920.694,57	227.842.632.550,69	334.068.136.654,04	451.349.676.544,79	580.837.973.307,91

#### 4.5.4. Hasil analisis manfaat dan biaya dari implementasi sistem zonal

Dari perhitungan biaya investasi dan operasional antara sistem radial propulsi mekanis, zona propulsi mekanis, dan zonal propulsi listrik, maka didapatkan akumulasi pengeluaran biaya per tahunnya. Gambar 4.14. menampilkan pengaruh implementasi sistem zonal berkaitan dengan biaya investasi dan biaya operasionalnya. Tampak antara sistem radial dan zonal propulsi mekanis memiliki nilai yang hampir sama, sedangkan zonal dengan sistem listrik mampu memberikan penghematan lebih efektif akibat dari fleksibilitas penggunaan dayanya. Manfaat dari penerapan sistem zonal mampu mereduksi biaya kabel dan bus sebesar 7%. Sistem zonal akan lebih memberikan manfaat penghematan bahan bakar apabila juga menerapkan sistem propulsi listrik. Penghematan yang didapatkan pada tahun ke 15 adalah 12 miliar rupiah., dan pada tahun 25 adalah 37 miliar rupiah.



**Gambar 4. 11** Akumulasi pengeluaran biaya pertahun dari implementasi sistem zonal dan sistem radial.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

Dari hasil thesis mengenai redesain sistem distribusi listrik kapal dengan topologi zonal didapatkan beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Implementasi zonal dapat memperbaiki efisiensi penggunaan daya dengan menyesuaikan penggunaan pembangkit daya (generator) berdasarkan rating pembebanannya. Pada kapal, roses implementasi sistem zonal dapat diawali dengan pengelompokan beban, serta perencanaan penggunaan generator (unit commitment) berdasarkan mode operasinya.
2. Dari hasil studi dengan metode aliran daya, maka diketahui bahwa sistem zonal dapat meningkatkan kualitas distribusi dari tegangan rata-rata 375 V dari sistem eksisting menjadi 378 V pada sistem zonal (pada rate tegangan 380 V).
3. Biaya investasi sistem permesinan yang harus dikeluarkan apabila menerapkan zonal propulsi mekanis adalah 28,027 miliar, atau lebih rendah 7% (17 juta rupiah) dari sistem eksisting yaitu 28,04 miliar.
4. Manfaat yang didapatkan dari penerapan sistem zonasi pada penelitian ini adalah kualitas sistem distribusi listrik menjadi lebih baik yang ditandai dengan nilai kegagalan sistem yang semula memiliki nilai  $Q = 1.32 \times 10^{-6}$  menjadi  $Q = 2.9 \times 10^{-7}$ . Pada analisis biaya investasi dan operasional, sistem radial dan zonal propulsi mekanis memiliki nilai yang hampir sama karena hanya dibedakan dari selisih investasi 17 juta rupiah. Sedangkan zonal dengan sistem elektris mampu memberikan penghematan lebih efektif akibat dari fleksibilitas penggunaan dayanya Sistem zonal akan lebih memberikan manfaat penghematan bahan bakar apabila juga menerapkan sistem propulsi elektris. Penghematan yang didapatkan pada tahun ke 15 adalah 12 miliar rupiah, dan tahun ke 25 adalah 37 miliar rupiah.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## REFERENSI

- Amos, S. J., 2004. *Skills & knowledge of cost engineering*. 5th ed. Morgantown: AACE International.
- Baran, M. & Mahajan, N., 2013. DC distribution for industrial systems: opportunities and challenges. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Volume 39, pp. 1596-1601.
- Biro Klasifikasi Indonesia, 2014. (Vol IV) Rule of Electrical Installation. In: *Section 12 - Cable Network*. Jakarta: s.n., pp. 12-3/24.
- Biro Klasifikasi Indonesia, 2016. *Rules for The Classification and Construction - Part 1. Seagoing Ships - Volume IV Rule for Electrical Installations*. Jakarta: BKI.
- Cahyagi, D. & Koenhardono, E., 2017. Study of shipboard power distribution system: Review on an application of AC Zonal Distribution. *International Seminar on Science and Technology*.
- Caterpillar Inc., 2010. *Marine Engine 3512C HD & C280-12*. US: s.n.
- Chen, T., Chen, M., Hwang, K. & Chebli, E., 1991. Distribution system power flow analysis—A rigid approach. *IEEE Trans. Delivery*, Volume 6, p. 1146–1152.
- Ciezki, J. G. & Ashton, R. W., 2000. Selection and Stability Issues Associated with a Navy Shipboard DC Zonal Electric Distribution System. *IEEE Transaction on Power Delivery*, 15(2), pp. 665-669.
- Dubey, A. & Santoso, S., 2016. A two-level topology design framework for reliable shipboard power systems. *Invention*, Volume 1, pp. 1-19.
- Emadi, A., Ehsani, M. & Miller, J. M., 2004. *Vehicular Electric Power Systems: Land, Sea, Air, and Space Vehicles*. New York: Marcel Dekker.
- Fei, X., Rui, T., Li, J. & Xue, X., 2013. Coordination protection of low-voltage AC distribution network in vessel DC Zonal Electrical Distribution System. *Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices (ASEMD)*.
- Henger, H. & Desai, B., 2002. *Integrated fight through power..* Chicago, Proceedings of the 2002 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting.
- IEEE , 1993. IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants. In: *Chapter 16—Cost estimating of industrial power systems*. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., pp. 703-719.
- IEEE, 2002. *IEEE Standards 45 - IEEE Recommended Practice for Electrical Installations on Shipboard*. New York: IEEE.

- IMO, 2003. *SOLAS Regulation II-1/26.4: Machinery Installations – Dead Ship Condition*. London: s.n.
- Jayasinghe, S. G. et al., 2017. Review of Ship Microgrids: System Architectures, Storage Technologies and Power Quality Aspects. *Invention*, Volume 2, pp. 1-19.
- Kanellos, F. D., Moghaddam, A. A. & Gaerrero, J. M., 2016. Smart Shipboard Power System Operation and Management. *Invention*, Volume 1, pp. 1-14.
- Lan, H. et al., 2016. Modeling and Stability Analysis of Hybrid PV/Diesel/ESS in Ship Power System. *Invention*, Volume 1, pp. 1-16.
- Lan, H. et al., 2016. Modeling and Stability Analysis of Hybrid PV/Diesel/ESS in Ship Power System. *Inventions*, Volume 1, pp. 1-16.
- LCE, 2014. *NAVSSSES Upgrades Machinery Control System, Brings Navy One Step Closer to First All-Electric Warship*. [Online]  
Available at: <https://www.lce.com/pdfs/NAVSSSES-Upgrades-Machinery-Control-System-Brings-Navy-One-Step-Closer-to-First-AllElectric-Warship-327.pdf>  
[Accessed 20 July 2017].
- Locke, D., 2008. *Guide to the wiring regulations: 17th Edition IEE wiring regulations (BS 7671:2008)*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Meer, J. V., Bender, A., Krstic, S. & Divan, D., 2005. *Improved Ship Power System - Generation, Distribution, and Fault Control for Electric Propulsion and Ship Service*. Philadelphia, PA, USA, IEEE Electric Ship Technologies Symposium, pp. 284-291.
- Mindykowski, J., 2016. Case Study—Based Overview of Some Contemporary Challenges to Power Quality in Ship Systems. *Invention*, Volume 1, pp. 1-30.
- Mindykowski, J., 2016. Case Study—Based Overview of Some Contemporary Challenges to Power Quality in Ship Systems. *Inventions*, Volume 1, pp. 1-30.
- Patel, M. R., 2012. *Shipboard Power System*. US: CRC Press.
- Sarwito, S., 1995. *Marine Electrical*. Surabaya: ITS.
- Sarwito, S., 1995. *Perencanaan Instalasi Listrik Kapal*. Surabaya: ITS.
- Sarwito, S., Kusuma, I. R. & Irawati, R. A. W. A., 2017. Analysis of Electric Propulsion Performance on Submersible with Motor DC, Supply Power 10260AH at Voltage 115VDC. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, Volume 1.
- Short, T., 2006. *Electric Power Distribution Equipment and Systems*. Boca Raton: CRC Press.

- Stevens, M. B., Santoso, S. & Arapostathis, A., 2013. *Designing Shipboard Electrical Distribution Systems for Optimal Reliability*. Texas: The University of Texas at Austin.
- Teng, J.H., 2003. A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, Volume 18, NO. 3, pp. 259-264.
- Tidd, C. N., 2010. *Hardware model of a shipboard Zonal Electrical Distribution System (ZEDS) Alternating Current/Direct Current (AC/DC)*. California: Institutional Archive of The Naval Postgraduate School.
- Vafamehr, R., 2011. *Design of Electrical Power Supply System in an Oil and Gas refinery*. Sweden: Chalmer University of Technology.
- Willis, H. L., 2004. *Power Distribution Planning Reference Book*. 2nd ed. USA: CRC Press.
- Wu, S. et al., 2012. Electric propulsion effects on DC Zonal Electrical Distribution system stability. *Modelling, Identification & Control (ICMIC)*, pp. 144-149.
- Yadav, A. & Dash, Y., 2014. An Overview of Transmission Line Protection by Artificial Neural Network: Fault Detection, Fault Classification, Fault Location, and Fault Direction Discrimination. *Advances in Artificial Neural Systems*, pp. 1-20.
- Zivi, E., 2002. Integrated shipboard power and automation control challenge problem. *Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE*, pp. 325-330.

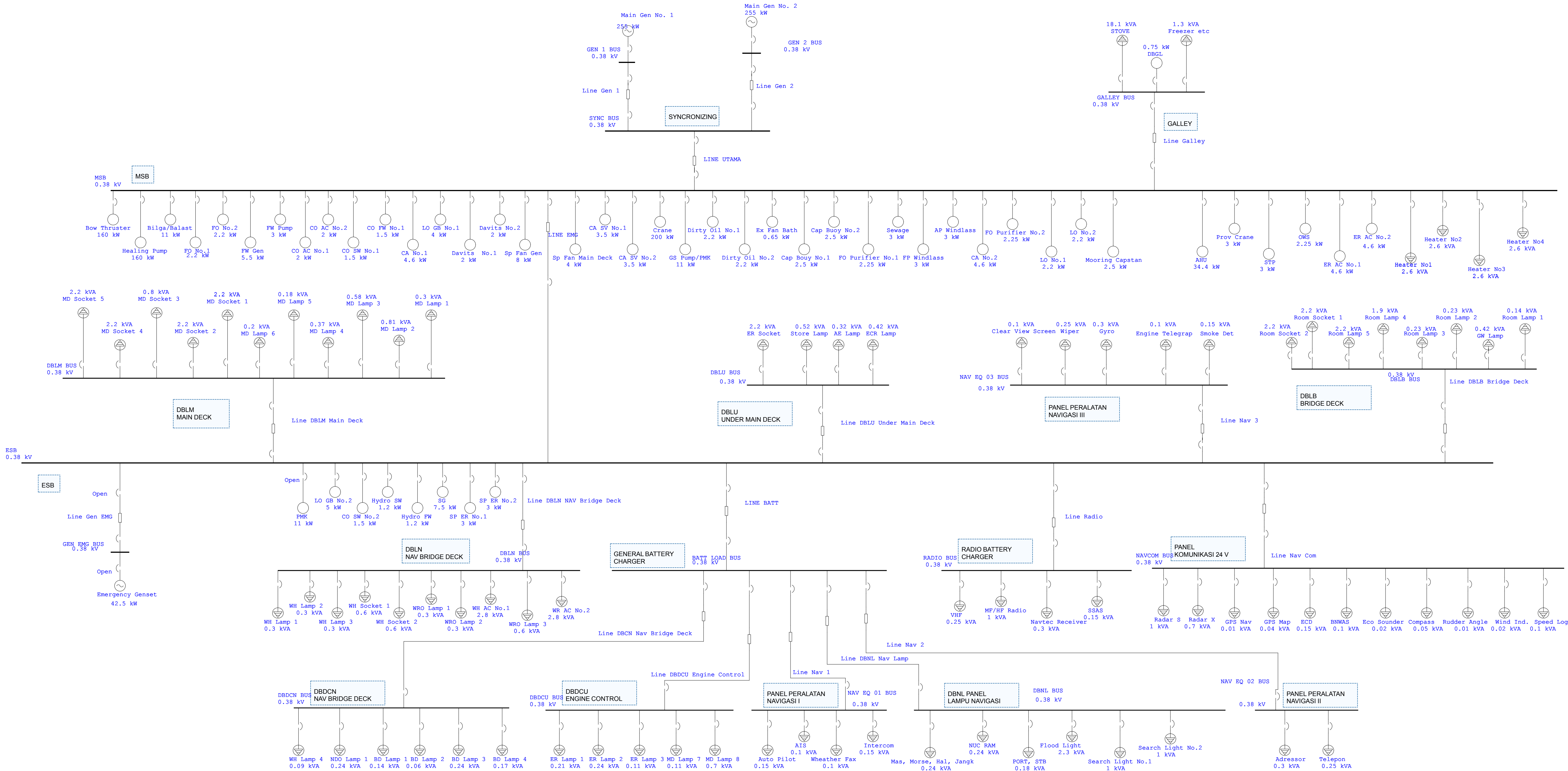
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **Lampiran I**

Single line diagram sistem terpisah (*Segregated system*)









## **Lampiran II**

Single line diagram sistem distribusi zonal







# **Lampiran III**

## Perhitungan aliran daya





```

DATA_INPUT_SBUS=[ 1 2 0.0092*(10/1000)*1.0 0.1384*(10/1000)*1.0 0✓
0
1 3 0.0453*(10/1000)*1.0 0.0606*(10/1000)*1.0 2382e3✓
976e3
2 4 0.2010*(15/1000)*1.0 0.0931*(15/1000)*1.0 40.9e3✓
38.829e3
2 5 0.4343*(10/1000)*1.0 0.0973*(10/1000)*1.0 14e3✓
11.235e3
2 6 0.0324*(10/1000)*1.0 0.0930*(10/1000)*1.0 184.5e3✓
95.561e3
2 7 0.0709*(10/1000)*1.0 0.1217*(10/1000)*1.0 109.3e3✓
63.843e3
2 8 0.1582*(10/1000)*1.0 0.0954*(10/1000)*1.0 0✓
0
8 9 0.4712*(10/1000)*1.0 0.0739*(10/1000)*1.0 9.838e3✓
6.063e3
8 10 0.4712*(10/1000)*1.0 0.0790*(10/1000)*1.0 7.77e3✓
3.781e3
8 11 0.3262*(10/1000)*1.0 0.0750*(10/1000)*1.0 0✓
0
8 12 0.8841*(10/1000)*1.0 0.0820*(10/1000)*1.0 2.983e3✓
1.376e3
8 13 0.8841*(10/1000)*1.0 0.0820*(10/1000)*1.0 1.581e3✓
0.051e3
8 14 0.8841*(10/1000)*1.0 0.0820*(10/1000)*1.0 0.838e3✓
0.025e3
8 15 0.8841*(10/1000)*1.0 0.1540*(10/1000)*1.0 2.085e3✓
0.023e3
8 16 0.6381*(10/1000)*1.0 0.0800*(10/1000)*1.0 8.091e3✓
3.675e3
11 17 0.8841*(10/1000)*1.0 0.0820*(10/1000)*1.0 7.77e3✓
3.781e3
11 18 0.8841*(10/1000)*1.0 0.0820*(10/1000)*1.0 1.337e3✓
0.033e3
11 19 0.8841*(10/1000)*1.0 0.0820*(10/1000)*1.0 0.505e3✓
0.033e3
11 15 0.6381*(10/1000)*1.0 0.0800*(10/1000)*1.0 4.779e3✓
0.045e3
11 21 0.8841*(10/1000)*1.0 0.0820*(10/1000)*1.0 0.553e3✓
0.033e3 ];

DATA_INPUT_PBUS=[ 22 23 0.0092*(10/1000)*1.0 0.1384*(10/1000)*1.0 0 0
22 24 0.0453*(10/1000)*1.0 0.0606*(10/1000)*1.0 2382e3✓
976e3
23 25 0.0541*(10/1000)*1.0 0.0856*(10/1000)*1.0 0 0
23 26 0.2983*(10/1000)*1.0 0.0884*(10/1000)*1.0 29e3✓
14.468e3
23 27 0.8841*(10/1000)*1.0 0.0820*(10/1000)*1.0 8.4e3 7.854✓
e3
25 28 0.0689*(10/1000)*1.0 0.1312*(10/1000)*1.0 160e3✓

```

76.168e3

25 29 0.0820\*(10/1000)\*1.0 0.1258\*(10/1000)\*1.0 200e3 ✓

95.34e3 ];

```

Z1_2=DATA_INPUT_SBUS(1,3)+DATA_INPUT_SBUS(1,4)*i;
Z1_3=DATA_INPUT_SBUS(2,3)+DATA_INPUT_SBUS(2,4)*i;
Z2_4=DATA_INPUT_SBUS(3,3)+DATA_INPUT_SBUS(3,4)*i;
Z2_5=DATA_INPUT_SBUS(4,3)+DATA_INPUT_SBUS(4,4)*i;
Z2_6=DATA_INPUT_SBUS(5,3)+DATA_INPUT_SBUS(5,4)*i;
Z2_7=DATA_INPUT_SBUS(6,3)+DATA_INPUT_SBUS(6,4)*i;
Z2_8=DATA_INPUT_SBUS(7,3)+DATA_INPUT_SBUS(7,4)*i;
Z8_9=DATA_INPUT_SBUS(8,3)+DATA_INPUT_SBUS(8,4)*i;
Z8_10=DATA_INPUT_SBUS(9,3)+DATA_INPUT_SBUS(9,4)*i;
Z8_11=DATA_INPUT_SBUS(10,3)+DATA_INPUT_SBUS(10,4)*i;
Z8_12=DATA_INPUT_SBUS(11,3)+DATA_INPUT_SBUS(11,4)*i;
Z8_13=DATA_INPUT_SBUS(12,3)+DATA_INPUT_SBUS(12,4)*i;
Z8_14=DATA_INPUT_SBUS(13,3)+DATA_INPUT_SBUS(13,4)*i;
Z8_15=DATA_INPUT_SBUS(14,3)+DATA_INPUT_SBUS(14,4)*i;
Z8_16=DATA_INPUT_SBUS(15,3)+DATA_INPUT_SBUS(15,4)*i;
Z11_17=DATA_INPUT_SBUS(16,3)+DATA_INPUT_SBUS(16,4)*i;
Z11_18=DATA_INPUT_SBUS(17,3)+DATA_INPUT_SBUS(17,4)*i;
Z11_19=DATA_INPUT_SBUS(18,3)+DATA_INPUT_SBUS(18,4)*i;
Z11_20=DATA_INPUT_SBUS(19,3)+DATA_INPUT_SBUS(19,4)*i;
Z11_21=DATA_INPUT_SBUS(20,3)+DATA_INPUT_SBUS(20,4)*i;

```

```

Z22_23=DATA_INPUT_PBUS(1,3)+DATA_INPUT_PBUS(1,4)*i;
Z22_24=DATA_INPUT_PBUS(2,3)+DATA_INPUT_PBUS(2,4)*i;
Z23_25=DATA_INPUT_PBUS(3,3)+DATA_INPUT_PBUS(3,4)*i;
Z23_26=DATA_INPUT_PBUS(4,3)+DATA_INPUT_PBUS(4,4)*i;
Z23_27=DATA_INPUT_PBUS(5,3)+DATA_INPUT_PBUS(5,4)*i;
Z25_28=DATA_INPUT_PBUS(6,3)+DATA_INPUT_PBUS(6,4)*i;
Z25_29=DATA_INPUT_PBUS(7,3)+DATA_INPUT_PBUS(7,4)*i;

```

```

BIBC_SBUS=[ 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0

```

```

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 ↙

```

```
1;
```

```

BCBV_SBUS=[ z1_2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 0 z1_3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 z1_2 0 z2_4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 z1_2 0 0 z2_5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 z1_2 0 0 0 z2_6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 z1_2 0 0 0 0 z2_7 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 z1_2 0 0 0 0 0 0 z2_8 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 z2_8 z8_9 0 0 0 ↙
0 0 z1_2 0 0 0 0 0 0 0 0 z2_8 0 z8_10 0 0 ↙
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 z8_11 ↙
0 0 z1_2 0 0 0 0 0 0 0 0 z2_8 0 0 0 z8_11 ↙
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
z8_12 0 0 z1_2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 z1_2 0 0 0 0 0 0 0 0 z2_8 0 0 0 0 ↙
0 0 z8_13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 z1_2 0 0 0 0 0 0 0 0 z2_8 0 0 0 0 ↙
0 0 0 z8_14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 z1_2 0 0 0 0 0 0 0 0 z2_8 0 0 0 0 ↙
0 0 0 0 z8_15 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 z1_2 0 0 0 0 0 0 0 0 z2_8 0 0 0 0 ↙
0 0 0 0 0 z8_16 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 z1_2 0 0 0 0 0 0 z11_17 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 z11_18 0 0 0 0 0 0 ↙
0 0 z1_2 0 0 0 0 0 0 0 0 z11_19 0 0 0 0 0 ↙
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 z11_20 0 0 0 0 0 ↙
0 0 z1_2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 z11_21 0 0 0 0 0 ↙
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 z11_21];

```

```

BIBC_PBUS=[    1    0    1    1    1    1    1
              0    1    0    0    0    0    0
              0    0    0    0    0    1    1
              0    0    0    1    0    0    0
              0    0    0    0    1    0    0
              0    0    0    0    0    1    0
              0    0    0    0    0    0    1    ];

BCBV_PBUS=[    Z22_23      0      0      0      0      0      0
              0      Z22_24      0      0      0      0      0
              Z22_23      0      Z23_25      0      0      0      0
              Z22_23      0      0      Z23_26      0      0      0
              Z22_23      0      0      0      Z23_27      0      0
              Z22_23      0      Z23_25      0      0      Z25_28      0
              Z22_23      0      Z23_25      0      0      0      0
Z25_29 ];

DLF_SBUS=BCBV_SBUS*BIBC_SBUS;
DLF_PBUS=BCBV_PBUS*BIBC_PBUS;

%initializing_SBUS
n_SBUS=20;
V_SBUS=ones(n_SBUS,1)*380;
V_NOLOAD_SBUS=ones(n_SBUS,1)*380;
S_SBUS=(DATA_INPUT_SBUS(:,5))-(DATA_INPUT_SBUS(:,6)*j);
I_SBUS=(S_SBUS./V_SBUS);

%initializing_PBUS
n_PBUS=7;
V_PBUS=ones(n_PBUS,1)*380;
V_NOLOAD_PBUS=ones(n_PBUS,1)*380;
S_PBUS=(DATA_INPUT_PBUS(:,5))-(DATA_INPUT_PBUS(:,6)*j);
I_PBUS=(S_PBUS./V_PBUS);

%% N-Topology Based Iterations
for iter = 1:100;
    disp(['iter',num2str(iter)]);

    V_SBUSawal=V_SBUS;
    I_SBUSawal=I_SBUS;

    V_PBUSawal=V_PBUS;
    I_PBUSawal=I_PBUS;

```

```
%ITERATION S_BUS
```

```
for k=1
```

```
    DELTA_V_SBUS = DLF_SBUS*I_SBUS;  
    V_SBUS      = V_NOLOAD_SBUS - DELTA_V_SBUS;  
    MAGNITUDE_V_SBUS=abs(V_SBUS)  
    I_SBUS      = (S_SBUS./V_SBUS);  
    MAGNITUDE_I_SBUS=abs(I_SBUS);
```

```
end
```

```
%ITERATION P_BUS
```

```
for k=1
```

```
    DELTA_V_PBUS = DLF_PBUS*I_PBUS;  
    V_PBUS      = V_NOLOAD_PBUS - DELTA_V_PBUS;  
    MAGNITUDE_V_PBUS=abs(V_PBUS)  
    I_PBUS      = (S_PBUS./V_PBUS);  
    MAGNITUDE_I_PBUS=abs(I_PBUS);
```

```
end
```

```
V_SBUSakhir=V_SBUS;  
I_SBUSakhir=I_SBUS;
```

```
V_PBUSakhir=V_PBUS;  
I_PBUSakhir=I_PBUS;
```

```
Error_I_SBUS = (abs(max(I_SBUSakhir)))-(abs(max(I_SBUSawal)));  
Error_V_SBUS = (abs(max(V_SBUSakhir)))-(abs(max(V_SBUSawal)));
```

```
Error_I_PBUS = (abs(max(I_PBUSakhir)))-(abs(max(I_PBUSawal)));  
Error_V_PBUS = (abs(max(V_PBUSakhir)))-(abs(max(V_PBUSawal)));
```

```
    if abs(abs(max(I_SBUSawal))-abs(max(I_SBUSakhir)))<1e-3;
```

```
        iter;
```

```
    break;
```

```
end
```

end

%% LOADING DATA

%CONNECTED POWER PORT

P\_DATA\_PORT\_CONNECTED=1500\*2;

%CONNECTED POWER STARBOARD

P\_DATA\_STB\_CONNECTED=1500\*2;

%CONNECTED POWER PORT

P\_DATA\_PORT\_CONSUMED=round(sum((DATA\_INPUT\_PBUS(:,5)))\*0.001);

%CONNECTED POWER STARBOARD

P\_DATA\_STB\_CONSUMED=round(sum((DATA\_INPUT\_SBUS(:,5)))\*0.001);

%AVAILABLE POWER PORT

P\_DATA\_PORT\_AVAILABLE=P\_DATA\_PORT\_CONNECTED - P\_DATA\_PORT\_CONSUMED;

%AVAILABLE POWER PORT

P\_DATA\_STB\_AVAILABLE=P\_DATA\_STB\_CONNECTED - P\_DATA\_STB\_CONSUMED;

%GENERATOR 01

P\_DATA\_GEN01=1500;

V\_DATA\_GEN01=380;

%GENERATOR 02

P\_DATA\_GEN02=750;

V\_DATA\_GEN02=380;

%GENERATOR 03

P\_DATA\_GEN03=750;

V\_DATA\_GEN03=380;

%GENERATOR 04

P\_DATA\_GEN04=1500;

V\_DATA\_GEN04=380;

%GENERATOR 05

P\_DATA\_GEN05=750;

V\_DATA\_GEN05=380;

%GENERATOR 06

P\_DATA\_GEN06=750;

V\_DATA\_GEN06=380;

## %STARBOARD BUS

```
P_DATA_STB_BUS=round(2779);  
V_DATA_STB_BUS=MAGNITUDE_V_SBUS(1,1);
```

## %PORT BUS

```
P_DATA_PORT_BUS=round(2779);  
V_DATA_PORT_BUS=MAGNITUDE_V_PBUS(1,1);
```

## %MOTOR PROP 01

```
P_DATA_MP_01=round(DATA_INPUT_SBUS(2,5)*1e-3);  
V_DATA_MP_01=MAGNITUDE_V_SBUS(2,1);
```

## %MOTOR PROP 02

```
P_DATA_MP_02=round(DATA_INPUT_PBUS(2,5)*1e-3);  
V_DATA_MP_02=MAGNITUDE_V_PBUS(2,1);
```

## %PORT BUS TO ZONE

```
V_DATA_PORT_BUS_SIDE=MAGNITUDE_V_PBUS(1,1);
```

## %STB BUS TO ZONE

```
V_DATA_STB_BUS_SIDE=MAGNITUDE_V_SBUS(1,1);
```

## %ZONE 01

```
P_DATA_ZONE_01=round(DATA_INPUT_SBUS(3,5)*1e-3);  
V_DATA_ZONE_01=MAGNITUDE_V_SBUS(3,1);
```

## %ZONE 02

```
P_DATA_ZONE_02=round(DATA_INPUT_SBUS(4,5)*1e-3);  
V_DATA_ZONE_02=MAGNITUDE_V_SBUS(4,1);
```

## %ZONE 03

```
P_DATA_ZONE_03=round(360);  
V_DATA_ZONE_03=MAGNITUDE_V_PBUS(3,1);
```

## %ZONE 04

```
P_DATA_ZONE_04=round(DATA_INPUT_SBUS(5,5)*1e-3);  
V_DATA_ZONE_04=MAGNITUDE_V_SBUS(5,1);
```

## %ZONE 05

```
P_DATA_ZONE_05=round(DATA_INPUT_PBUS(4,5)*1e-3);  
V_DATA_ZONE_05=MAGNITUDE_V_PBUS(4,1);
```

## %ZONE 06

```
P_DATA_ZONE_06=round(DATA_INPUT_SBUS(6,5)*1e-3);  
V_DATA_ZONE_06=MAGNITUDE_V_SBUS(6,1);
```

## %ZONE 07

```
P_DATA_ZONE_07=round(DATA_INPUT_PBUS(4,5)*1e-3);  
V_DATA_ZONE_07=MAGNITUDE_V_PBUS(5,1);
```

%ZONE 08

P\_DATA\_ZONE\_08=round(30522\*1e-3);  
V\_DATA\_ZONE\_08=MAGNITUDE\_V\_SBUS(7,1);

%% DATA LOSSES

%LOSSES PORT BUS Z22\_23

V22\_23=(380-V\_DATA\_PORT\_BUS);  
I22\_23=V22\_23/Z22\_23;  
S22\_23=380\*I22\_23\*0.001;

V23\_22=V\_DATA\_PORT\_BUS-380;  
I23\_22=V23\_22/Z22\_23;  
S23\_22=V\_DATA\_PORT\_BUS\*I23\_22\*0.001;

S\_LOSSES\_22\_23=S22\_23+S23\_22;  
LS\_PBUS=abs(S\_LOSSES\_22\_23)

%LOSSES STB BUS Z1\_2

V1\_2=(380-V\_DATA\_STB\_BUS);  
I1\_2=V1\_2/Z1\_2;  
S1\_2=380\*I1\_2\*0.001;

V2\_1=V\_DATA\_STB\_BUS-380;  
I2\_1=V2\_1/Z1\_2;  
S2\_1=V\_DATA\_STB\_BUS\*I2\_1\*0.001;

S\_LOSSES\_1\_2=S1\_2+S2\_1;  
LS\_SBUS=abs(S\_LOSSES\_1\_2)

%LOSSES MP 01 Z22\_24

V22\_24=V\_DATA\_PORT\_BUS-V\_DATA\_MP\_01;  
I22\_24=V22\_24/Z22\_24;  
S22\_24=V\_DATA\_PORT\_BUS\*I22\_24\*0.001;

V24\_22=V\_DATA\_MP\_01-V\_DATA\_PORT\_BUS;  
I24\_22=V24\_22/Z22\_24;  
S24\_22=V\_DATA\_MP\_01\*I24\_22\*0.001;

S\_LOSSES\_22\_24=S22\_24+S24\_22;  
LS\_MP01=abs(S\_LOSSES\_22\_24)

%LOSSES MP 02 Z1\_3

V1\_3=V\_DATA\_STB\_BUS-V\_DATA\_MP\_02;  
I1\_3=V1\_3/Z1\_3;  
S1\_3=V\_DATA\_STB\_BUS\*I1\_3\*0.001;



```
V3_1=V_DATA_MP_02-V_DATA_STB_BUS;  
I3_1=V3_1/Z1_3;  
S3_1=V_DATA_MP_02*I3_1*0.001;
```

```
S_LOSSES_1_3=S1_3+S3_1;  
LS_MP02=abs(S_LOSSES_1_3)
```

```
%LOSSES_ZONE 01 Z2_4
```

```
V2_4=V_DATA_STB_BUS_SIDE-V_DATA_ZONE_01;  
I2_4=V2_4/Z2_4;  
S2_4=V_DATA_STB_BUS_SIDE*I2_4*0.001;
```

```
V4_2=V_DATA_ZONE_01-V_DATA_STB_BUS_SIDE;  
I4_2=V4_2/Z2_4;  
S4_2=V_DATA_ZONE_01*I4_2*0.001;
```

```
S_LOSSES_2_4=S2_4+S4_2;  
LS_ZONE01=abs(S_LOSSES_2_4)
```

```
%LOSSES_ZONE 02 Z2_5
```

```
V2_5=V_DATA_STB_BUS_SIDE-V_DATA_ZONE_02;  
I2_5=V2_5/Z2_5;  
S2_5=V_DATA_STB_BUS_SIDE*I2_5*0.001;
```

```
V5_2=V_DATA_ZONE_02-V_DATA_STB_BUS_SIDE;  
I5_2=V5_2/Z2_5;  
S5_2=V_DATA_ZONE_02*I5_2*0.001;
```

```
S_LOSSES_2_5=S2_5+S5_2;  
LS_ZONE02=abs(S_LOSSES_2_5)
```

```
%LOSSES_ZONE 03 Z23_25
```

```
V23_25=V_DATA_PORT_BUS_SIDE-V_DATA_ZONE_03;  
I23_25=V23_25/Z23_25;  
S23_25=V_DATA_PORT_BUS_SIDE*I23_25*0.001;
```

```
V25_23=V_DATA_ZONE_03-V_DATA_PORT_BUS_SIDE;  
I25_23=V25_23/Z23_25;  
S25_23=V_DATA_ZONE_03*I25_23*0.001;
```

```
S_LOSSES_23_25=S23_25+S25_23;  
LS_ZONE03=abs(S_LOSSES_23_25)
```

```
%LOSSES_ZONE 04 Z2_6
```

```
V2_6=V_DATA_STB_BUS_SIDE-V_DATA_ZONE_04;  
I2_6=V2_6/Z2_6;
```

```
S2_6=V_DATA_STB_BUS_SIDE*I2_6*0.001;
```

```
V6_2=V_DATA_ZONE_04-V_DATA_STB_BUS_SIDE;
```

```
I6_2=V6_2/Z2_6;
```

```
S6_2=V_DATA_ZONE_04*I6_2*0.001;
```

```
S_LOSSES_2_6=S2_6+S6_2;
```

```
LS_ZONE04=abs(S_LOSSES_2_6);
```

```
%LOSSES ZONE 05 Z23_26
```

```
V23_26=V_DATA_PORT_BUS_SIDE-V_DATA_ZONE_05;
```

```
I23_26=V23_26/Z23_26;
```

```
S23_26=V_DATA_PORT_BUS_SIDE*I23_26*0.001;
```

```
V26_23=V_DATA_ZONE_05-V_DATA_PORT_BUS_SIDE;
```

```
I26_23=V26_23/Z23_26;
```

```
S26_23=V_DATA_ZONE_05*I26_23*0.001;
```

```
S_LOSSES_23_26=S23_26+S26_23;
```

```
LS_ZONE05=abs(S_LOSSES_23_26)
```

```
%LOSSES ZONE 06 Z2_7
```

```
V2_7=V_DATA_STB_BUS_SIDE-V_DATA_ZONE_06;
```

```
I2_7=V2_7/Z2_7;
```

```
S2_7=V_DATA_STB_BUS_SIDE*I2_7*0.001;
```

```
V7_2=V_DATA_ZONE_06-V_DATA_STB_BUS_SIDE;
```

```
I7_2=V7_2/Z2_7;
```

```
S7_2=V_DATA_ZONE_06*I7_2*0.001;
```

```
S_LOSSES_2_7=S2_7+S7_2;
```

```
LS_ZONE06=abs(S_LOSSES_2_7)
```

```
%LOSSES ZONE 07 Z23_27
```

```
V23_27=V_DATA_PORT_BUS_SIDE-V_DATA_ZONE_07;
```

```
I23_27=V23_27/Z23_27;
```

```
S23_27=V_DATA_PORT_BUS_SIDE*I23_27*0.001;
```

```
V27_23=V_DATA_ZONE_07-V_DATA_PORT_BUS_SIDE;
```

```
I27_23=V27_23/Z23_27;
```

```
S27_23=V_DATA_ZONE_07*I27_23*0.001;
```

```
S_LOSSES_23_27=S2_7+S7_2;
```

```
LS_ZONE07=abs(S_LOSSES_23_27)
```

```
%LOSSES ZONE 08 Z2_8
```

```
V2_8=V_DATA_STB_BUS_SIDE-V_DATA_ZONE_08;
```

```
I2_8=V2_8/Z2_8;  
S2_8=V_DATA_STB_BUS_SIDE*I2_8*0.001;
```

```
V8_2=V_DATA_ZONE_08-V_DATA_STB_BUS_SIDE;  
I8_2=V8_2/Z2_8;  
S8_2=V_DATA_ZONE_08*I8_2*0.001;
```

```
S_LOSSES_2_8=S2_8+S8_2;  
LS_ZONE08=abs(S_LOSSES_2_8)
```

```
%DATA LOSSES TOTAL
```

```
LOSSES_PORT=LS_PBUS+LS_MP01+LS_ZONE01+LS_ZONE02+LS_ZONE04+LS_ZONE06+LS_ZONE08  
LOSSES_STB=LS_SBUS+LS_MP02+LS_ZONE03+LS_ZONE05+LS_ZONE07
```



## **Lampiran IV**

Tampilan user interface



```

function varargout = DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02(varargin)
% DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02 MATLAB code for DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02.fig
%     DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02, by itself, creates a new
DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02 or raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02 returns the handle to a new
DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02 or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls
the local
%     function named CALLBACK in DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02.M with the given input
arguments.
%
%     DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02('Property','Value',...) creates a new
DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02 or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%     applied to the GUI before DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02_OpeningFcn gets called.
An
%     unrecognized property name or invalid value makes property application
%     stop. All inputs are passed to DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02_OpeningFcn via
varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02

% Last Modified by GUIDE v2.5 05-Jan-2018 00:33:49

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

```

```
% --- Executes just before DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02 is made visible.
function DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, ↵
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = DC_GUI_PERCOBAAN_JADI_LANJUT_02_OutputFcn(hObject, eventdata, ↵
handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in T_AL.
function T_AL_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to T_AL (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
run DC_POWER_FLOW_ALL_LOAD

%DATA TOTAL PORT SIDE
set(handles.P_PORT_CONNECTED, 'string', P_DATA_PORT_CONNECTED);
set(handles.P_PORT_CONSUMED, 'string', P_DATA_PORT_CONSUMED);
set(handles.P_PORT_AVAILABLE, 'string', P_DATA_PORT_AVAILABLE);

%DATA TOTAL STARBOARD
set(handles.P_STB_CONNECTED, 'string', P_DATA_STB_CONNECTED);
set(handles.P_STB_CONSUMED, 'string', P_DATA_STB_CONSUMED);
set(handles.P_STB_AVAILABLE, 'string', P_DATA_STB_AVAILABLE);

%DATA GENERATOR 1
```



```
set(handles.P_GEN01, 'string', P_DATA_GEN01);
set(handles.V_GEN01, 'string', V_DATA_GEN01);

%DATA GENERATOR 2
set(handles.P_GEN02, 'string', P_DATA_GEN02);
set(handles.V_GEN02, 'string', V_DATA_GEN02);

%DATA GENERATOR 3
set(handles.P_GEN03, 'string', P_DATA_GEN03);
set(handles.V_GEN03, 'string', V_DATA_GEN03);

%DATA GENERATOR 4
set(handles.P_GEN04, 'string', P_DATA_GEN04);
set(handles.V_GEN04, 'string', V_DATA_GEN04);

%DATA GENERATOR 5
set(handles.P_GEN05, 'string', P_DATA_GEN05);
set(handles.V_GEN05, 'string', V_DATA_GEN05);

%DATA GENERATOR 6
set(handles.P_GEN06, 'string', P_DATA_GEN06);
set(handles.V_GEN06, 'string', V_DATA_GEN06);

%DATA PORT BUS
set(handles.P_PORT_BUS, 'string', P_DATA_PORT_BUS);
set(handles.V_PORT_BUS, 'string', V_DATA_PORT_BUS);

%DATA STB BUS
set(handles.P_STB_BUS, 'string', P_DATA_STB_BUS);
set(handles.V_STB_BUS, 'string', V_DATA_STB_BUS);

%DATA ZONE 01
set(handles.P_ZONE_01, 'string', P_DATA_ZONE_01);
set(handles.V_ZONE_01, 'string', V_DATA_ZONE_01);

%DATA ZONE 02
set(handles.P_ZONE_02, 'string', P_DATA_ZONE_02);
set(handles.V_ZONE_02, 'string', V_DATA_ZONE_02);

%DATA ZONE 03
set(handles.P_ZONE_03, 'string', P_DATA_ZONE_03);
set(handles.V_ZONE_03, 'string', V_DATA_ZONE_03);

%DATA ZONE 04
set(handles.P_ZONE_04, 'string', P_DATA_ZONE_04);
set(handles.V_ZONE_04, 'string', V_DATA_ZONE_04);

%DATA ZONE 05
set(handles.P_ZONE_05, 'string', P_DATA_ZONE_05);
set(handles.V_ZONE_05, 'string', V_DATA_ZONE_05);
```

%DATA ZONE 06

```
set(handles.P_ZONE_06, 'string', P_DATA_ZONE_06);  
set(handles.V_ZONE_06, 'string', V_DATA_ZONE_06);
```

%DATA ZONE 07

```
set(handles.P_ZONE_07, 'string', P_DATA_ZONE_07);  
set(handles.V_ZONE_07, 'string', V_DATA_ZONE_07);
```

%DATA ZONE 08

```
set(handles.P_ZONE_08, 'string', P_DATA_ZONE_08);  
set(handles.V_ZONE_08, 'string', V_DATA_ZONE_08);
```

%DATA MP 01

```
set(handles.P_MP_01, 'string', P_DATA_MP_01);  
set(handles.V_MP_01, 'string', V_DATA_MP_01);
```

%DATA MP 02

```
set(handles.P_MP_02, 'string', P_DATA_MP_02);  
set(handles.V_MP_02, 'string', V_DATA_MP_02);
```

%DATA LOSSES PORTSIDE GEN

```
set(handles.LOSSES_PORT, 'string', LOSSES_PORT);
```

%DATA LOSSES STARBOARD GEN

```
set(handles.LOSSES_STB, 'string', LOSSES_STB);
```

%DATA LOSSES PORTSIDE BUS

```
set(handles.LS_PBUS, 'string', LS_PBUS);
```

%DATA LOSSES STARBOARD BUS

```
set(handles.LS_SBUS, 'string', LS_SBUS);
```

%DATA LOSSES MP 01

```
set(handles.LS_MP01, 'string', LS_MP01);
```

%DATA LOSSES MP 02

```
set(handles.LS_MP02, 'string', LS_MP02);
```

%DATA LOSSES ZONE 01

```
set(handles.LS_ZONE01, 'string', LS_ZONE01);
```

%DATA LOSSES ZONE 02

```
set(handles.LS_ZONE02, 'string', LS_ZONE02);
```

%DATA LOSSES ZONE 03

```
set(handles.LS_ZONE03, 'string', LS_ZONE03);
```

%DATA LOSSES ZONE 04

```
set(handles.LS_ZONE04, 'string', LS_ZONE04);
```

%DATA LOSSES ZONE 05

```
set(handles.LS_ZONE05, 'string', LS_ZONE05);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 06
```

```
set(handles.LS_ZONE06, 'string', LS_ZONE06);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 07
```

```
set(handles.LS_ZONE07, 'string', LS_ZONE07);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 08
```

```
set(handles.LS_ZONE08, 'string', LS_ZONE08);
```

```
% --- Executes on button press in T_SA.
```

```
function T_SA_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject      handle to T_SA (see GCBO)
```

```
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
run DC_POWER_FLOW_SAILING
```

```
%DATA TOTAL PORT SIDE
```

```
set(handles.P_PORT_CONNECTED, 'string', P_DATA_PORT_CONNECTED);
```

```
set(handles.P_PORT_CONSUMED, 'string', P_DATA_PORT_CONSUMED);
```

```
set(handles.P_PORT_AVAILABLE, 'string', P_DATA_PORT_AVAILABLE);
```

```
%DATA TOTAL STARBOARD
```

```
set(handles.P_STB_CONNECTED, 'string', P_DATA_STB_CONNECTED);
```

```
set(handles.P_STB_CONSUMED, 'string', P_DATA_STB_CONSUMED);
```

```
set(handles.P_STB_AVAILABLE, 'string', P_DATA_STB_AVAILABLE);
```

```
%DATA GENERATOR 1
```

```
set(handles.P_GEN01, 'string', P_DATA_GEN01);
```

```
set(handles.V_GEN01, 'string', V_DATA_GEN01);
```

## %DATA GENERATOR 2

```
set(handles.P_GEN02, 'string', P_DATA_GEN02);  
set(handles.V_GEN02, 'string', V_DATA_GEN02);
```

## %DATA GENERATOR 3

```
set(handles.P_GEN03, 'string', P_DATA_GEN03);  
set(handles.V_GEN03, 'string', V_DATA_GEN03);
```

## %DATA GENERATOR 4

```
set(handles.P_GEN04, 'string', P_DATA_GEN04);  
set(handles.V_GEN04, 'string', V_DATA_GEN04);
```

## %DATA GENERATOR 5

```
set(handles.P_GEN05, 'string', P_DATA_GEN05);  
set(handles.V_GEN05, 'string', V_DATA_GEN05);
```

## %DATA GENERATOR 6

```
set(handles.P_GEN06, 'string', P_DATA_GEN06);  
set(handles.V_GEN06, 'string', V_DATA_GEN06);
```

## %DATA PORT BUS

```
set(handles.P_PORT_BUS, 'string', P_DATA_PORT_BUS);  
set(handles.V_PORT_BUS, 'string', V_DATA_PORT_BUS);
```

## %DATA STB BUS

```
set(handles.P_STB_BUS, 'string', P_DATA_STB_BUS);  
set(handles.V_STB_BUS, 'string', V_DATA_STB_BUS);
```

## %DATA ZONE 01

```
set(handles.P_ZONE_01, 'string', P_DATA_ZONE_01);  
set(handles.V_ZONE_01, 'string', V_DATA_ZONE_01);
```

## %DATA ZONE 02

```
set(handles.P_ZONE_02, 'string', P_DATA_ZONE_02);  
set(handles.V_ZONE_02, 'string', V_DATA_ZONE_02);
```

## %DATA ZONE 03

```
set(handles.P_ZONE_03, 'string', P_DATA_ZONE_03);  
set(handles.V_ZONE_03, 'string', V_DATA_ZONE_03);
```

## %DATA ZONE 04

```
set(handles.P_ZONE_04, 'string', P_DATA_ZONE_04);  
set(handles.V_ZONE_04, 'string', V_DATA_ZONE_04);
```

## %DATA ZONE 05

```
set(handles.P_ZONE_05, 'string', P_DATA_ZONE_05);  
set(handles.V_ZONE_05, 'string', V_DATA_ZONE_05);
```

## %DATA ZONE 06

```
set(handles.P_ZONE_06, 'string', P_DATA_ZONE_06);
```

```
set(handles.V_ZONE_06, 'string', V_DATA_ZONE_06);
```

```
%DATA ZONE 07
```

```
set(handles.P_ZONE_07, 'string', P_DATA_ZONE_07);  
set(handles.V_ZONE_07, 'string', V_DATA_ZONE_07);
```

```
%DATA ZONE 08
```

```
set(handles.P_ZONE_08, 'string', P_DATA_ZONE_08);  
set(handles.V_ZONE_08, 'string', V_DATA_ZONE_08);
```

```
%DATA MP 01
```

```
set(handles.P_MP_01, 'string', P_DATA_MP_01);  
set(handles.V_MP_01, 'string', V_DATA_MP_01);
```

```
%DATA MP 02
```

```
set(handles.P_MP_02, 'string', P_DATA_MP_02);  
set(handles.V_MP_02, 'string', V_DATA_MP_02);
```

```
%DATA LOSSES PORTSIDE GEN
```

```
set(handles.LOSSES_PORT, 'string', LOSSES_PORT);
```

```
%DATA LOSSES STARBOARD GEN
```

```
set(handles.LOSSES_STB, 'string', LOSSES_STB);
```

```
%DATA LOSSES PORTSIDE BUS
```

```
set(handles.LS_PBUS, 'string', LS_PBUS);
```

```
%DATA LOSSES STARBOARD BUS
```

```
set(handles.LS_SBUS, 'string', LS_SBUS);
```

```
%DATA LOSSES MP 01
```

```
set(handles.LS_MP01, 'string', LS_MP01);
```

```
%DATA LOSSES MP 02
```

```
set(handles.LS_MP02, 'string', LS_MP02);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 01
```

```
set(handles.LS_ZONE01, 'string', LS_ZONE01);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 02
```

```
set(handles.LS_ZONE02, 'string', LS_ZONE02);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 03
```

```
set(handles.LS_ZONE03, 'string', LS_ZONE03);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 04
```

```
set(handles.LS_ZONE04, 'string', LS_ZONE04);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 05
```

```
set(handles.LS_ZONE05, 'string', LS_ZONE05);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 06
```

```
set(handles.LS_ZONE06, 'string', LS_ZONE06);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 07
```

```
set(handles.LS_ZONE07, 'string', LS_ZONE07);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 08
```

```
set(handles.LS_ZONE08, 'string', LS_ZONE08);
```

```
% --- Executes on button press in T_MN.
```

```
function T_MN_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to T_MN (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
run DC_POWER_FLOW_MANOUVERING
```

```
%DATA TOTAL PORT SIDE
```

```
set(handles.P_PORT_CONNECTED, 'string', P_DATA_PORT_CONNECTED);
```

```
set(handles.P_PORT_CONSUMED, 'string', P_DATA_PORT_CONSUMED);
```

```
set(handles.P_PORT_AVAILABLE, 'string', P_DATA_PORT_AVAILABLE);
```

```
%DATA TOTAL STARBOARD
```

```
set(handles.P_STB_CONNECTED, 'string', P_DATA_STB_CONNECTED);
```

```
set(handles.P_STB_CONSUMED, 'string', P_DATA_STB_CONSUMED);
```

```
set(handles.P_STB_AVAILABLE, 'string', P_DATA_STB_AVAILABLE);
```

```
%DATA GENERATOR 1
```

```
set(handles.P_GEN01, 'string', P_DATA_GEN01);
```

```
set(handles.V_GEN01, 'string', V_DATA_GEN01);
```

```
%DATA GENERATOR 2
```

```
set(handles.P_GEN02, 'string', P_DATA_GEN02);
```

```
set(handles.V_GEN02, 'string', V_DATA_GEN02);
```

```
%DATA GENERATOR 3
```

```
set(handles.P_GEN03, 'string', P_DATA_GEN03);
```

```
set(handles.V_GEN03, 'string', V_DATA_GEN03);
```

```
%DATA GENERATOR 4
```

```
set(handles.P_GEN04, 'string', P_DATA_GEN04);
```

```
set(handles.V_GEN04, 'string', V_DATA_GEN04);
```

## %DATA GENERATOR 5

```
set(handles.P_GEN05, 'string', P_DATA_GEN05);  
set(handles.V_GEN05, 'string', V_DATA_GEN05);
```

## %DATA GENERATOR 6

```
set(handles.P_GEN06, 'string', P_DATA_GEN06);  
set(handles.V_GEN06, 'string', V_DATA_GEN06);
```

## %DATA PORT BUS

```
set(handles.P_PORT_BUS, 'string', P_DATA_PORT_BUS);  
set(handles.V_PORT_BUS, 'string', V_DATA_PORT_BUS);
```

## %DATA STB BUS

```
set(handles.P_STB_BUS, 'string', P_DATA_STB_BUS);  
set(handles.V_STB_BUS, 'string', V_DATA_STB_BUS);
```

## %DATA ZONE 01

```
set(handles.P_ZONE_01, 'string', P_DATA_ZONE_01);  
set(handles.V_ZONE_01, 'string', V_DATA_ZONE_01);
```

## %DATA ZONE 02

```
set(handles.P_ZONE_02, 'string', P_DATA_ZONE_02);  
set(handles.V_ZONE_02, 'string', V_DATA_ZONE_02);
```

## %DATA ZONE 03

```
set(handles.P_ZONE_03, 'string', P_DATA_ZONE_03);  
set(handles.V_ZONE_03, 'string', V_DATA_ZONE_03);
```

## %DATA ZONE 04

```
set(handles.P_ZONE_04, 'string', P_DATA_ZONE_04);  
set(handles.V_ZONE_04, 'string', V_DATA_ZONE_04);
```

## %DATA ZONE 05

```
set(handles.P_ZONE_05, 'string', P_DATA_ZONE_05);  
set(handles.V_ZONE_05, 'string', V_DATA_ZONE_05);
```

## %DATA ZONE 06

```
set(handles.P_ZONE_06, 'string', P_DATA_ZONE_06);  
set(handles.V_ZONE_06, 'string', V_DATA_ZONE_06);
```

## %DATA ZONE 07

```
set(handles.P_ZONE_07, 'string', P_DATA_ZONE_07);  
set(handles.V_ZONE_07, 'string', V_DATA_ZONE_07);
```

## %DATA ZONE 08

```
set(handles.P_ZONE_08, 'string', P_DATA_ZONE_08);  
set(handles.V_ZONE_08, 'string', V_DATA_ZONE_08);
```

## %DATA MP 01

```
set(handles.P_MP_01, 'string', P_DATA_MP_01);  
set(handles.V_MP_01, 'string', V_DATA_MP_01);
```

```
%DATA MP 02
set(handles.P_MP_02, 'string', P_DATA_MP_02);
set(handles.V_MP_02, 'string', V_DATA_MP_02);

%DATA LOSSES PORTSIDE GEN
set(handles.LOSSES_PORT, 'string', LOSSES_PORT);

%DATA LOSSES STARBOARD GEN
set(handles.LOSSES_STB, 'string', LOSSES_STB);

%DATA LOSSES PORTSIDE BUS
set(handles.LS_PBUS, 'string', LS_PBUS);

%DATA LOSSES STARBOARD BUS
set(handles.LS_SBUS, 'string', LS_SBUS);

%DATA LOSSES MP 01
set(handles.LS_MP01, 'string', LS_MP01);

%DATA LOSSES MP 02
set(handles.LS_MP02, 'string', LS_MP02);

%DATA LOSSES ZONE 01
set(handles.LS_ZONE01, 'string', LS_ZONE01);

%DATA LOSSES ZONE 02
set(handles.LS_ZONE02, 'string', LS_ZONE02);

%DATA LOSSES ZONE 03
set(handles.LS_ZONE03, 'string', LS_ZONE03);

%DATA LOSSES ZONE 04
set(handles.LS_ZONE04, 'string', LS_ZONE04);

%DATA LOSSES ZONE 05
set(handles.LS_ZONE05, 'string', LS_ZONE05);

%DATA LOSSES ZONE 06
set(handles.LS_ZONE06, 'string', LS_ZONE06);

%DATA LOSSES ZONE 07
set(handles.LS_ZONE07, 'string', LS_ZONE07);

%DATA LOSSES ZONE 08
set(handles.LS_ZONE08, 'string', LS_ZONE08);
```



```
% --- Executes on button press in T_WR.
function T_WR_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to T_WR (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

run DC_POWER_FLOW_WORKING

%DATA TOTAL PORT SIDE
set(handles.P_PORT_CONNECTED, 'string', P_DATA_PORT_CONNECTED);
set(handles.P_PORT_CONSUMED, 'string', P_DATA_PORT_CONSUMED);
set(handles.P_PORT_AVAILABLE, 'string', P_DATA_PORT_AVAILABLE);

%DATA TOTAL STARBOARD
set(handles.P_STB_CONNECTED, 'string', P_DATA_STB_CONNECTED);
set(handles.P_STB_CONSUMED, 'string', P_DATA_STB_CONSUMED);
set(handles.P_STB_AVAILABLE, 'string', P_DATA_STB_AVAILABLE);

%DATA GENERATOR 1
set(handles.P_GEN01, 'string', P_DATA_GEN01);
set(handles.V_GEN01, 'string', V_DATA_GEN01);

%DATA GENERATOR 2
set(handles.P_GEN02, 'string', P_DATA_GEN02);
set(handles.V_GEN02, 'string', V_DATA_GEN02);

%DATA GENERATOR 3
set(handles.P_GEN03, 'string', P_DATA_GEN03);
set(handles.V_GEN03, 'string', V_DATA_GEN03);

%DATA GENERATOR 4
set(handles.P_GEN04, 'string', P_DATA_GEN04);
set(handles.V_GEN04, 'string', V_DATA_GEN04);

%DATA GENERATOR 5
set(handles.P_GEN05, 'string', P_DATA_GEN05);
set(handles.V_GEN05, 'string', V_DATA_GEN05);

%DATA GENERATOR 6
set(handles.P_GEN06, 'string', P_DATA_GEN06);
set(handles.V_GEN06, 'string', V_DATA_GEN06);

%DATA PORT BUS
set(handles.P_PORT_BUS, 'string', P_DATA_PORT_BUS);
```

```
set(handles.V_PORT_BUS, 'string', V_DATA_PORT_BUS);
```

```
%DATA STB BUS
```

```
set(handles.P_STB_BUS, 'string', P_DATA_STB_BUS);  
set(handles.V_STB_BUS, 'string', V_DATA_STB_BUS);
```

```
%DATA ZONE 01
```

```
set(handles.P_ZONE_01, 'string', P_DATA_ZONE_01);  
set(handles.V_ZONE_01, 'string', V_DATA_ZONE_01);
```

```
%DATA ZONE 02
```

```
set(handles.P_ZONE_02, 'string', P_DATA_ZONE_02);  
set(handles.V_ZONE_02, 'string', V_DATA_ZONE_02);
```

```
%DATA ZONE 03
```

```
set(handles.P_ZONE_03, 'string', P_DATA_ZONE_03);  
set(handles.V_ZONE_03, 'string', V_DATA_ZONE_03);
```

```
%DATA ZONE 04
```

```
set(handles.P_ZONE_04, 'string', P_DATA_ZONE_04);  
set(handles.V_ZONE_04, 'string', V_DATA_ZONE_04);
```

```
%DATA ZONE 05
```

```
set(handles.P_ZONE_05, 'string', P_DATA_ZONE_05);  
set(handles.V_ZONE_05, 'string', V_DATA_ZONE_05);
```

```
%DATA ZONE 06
```

```
set(handles.P_ZONE_06, 'string', P_DATA_ZONE_06);  
set(handles.V_ZONE_06, 'string', V_DATA_ZONE_06);
```

```
%DATA ZONE 07
```

```
set(handles.P_ZONE_07, 'string', P_DATA_ZONE_07);  
set(handles.V_ZONE_07, 'string', V_DATA_ZONE_07);
```

```
%DATA ZONE 08
```

```
set(handles.P_ZONE_08, 'string', P_DATA_ZONE_08);  
set(handles.V_ZONE_08, 'string', V_DATA_ZONE_08);
```

```
%DATA MP 01
```

```
set(handles.P_MP_01, 'string', P_DATA_MP_01);  
set(handles.V_MP_01, 'string', V_DATA_MP_01);
```

```
%DATA MP 02
```

```
set(handles.P_MP_02, 'string', P_DATA_MP_02);  
set(handles.V_MP_02, 'string', V_DATA_MP_02);
```

```
%DATA LOSSES PORTSIDE GEN
```

```
set(handles.LOSSES_PORT, 'string', LOSSES_PORT);
```

```
%DATA LOSSES STARBOARD GEN
```

```
set(handles.LOSSES_STB, 'string', LOSSES_STB);
```

```
%DATA LOSSES PORTSIDE BUS
set(handles.LS_PBUS, 'string', LS_PBUS);

%DATA LOSSES STARBOARD BUS
set(handles.LS_SBUS, 'string', LS_SBUS);

%DATA LOSSES MP 01
set(handles.LS_MP01, 'string', LS_MP01);

%DATA LOSSES MP 02
set(handles.LS_MP02, 'string', LS_MP02);

%DATA LOSSES ZONE 01
set(handles.LS_ZONE01, 'string', LS_ZONE01);

%DATA LOSSES ZONE 02
set(handles.LS_ZONE02, 'string', LS_ZONE02);

%DATA LOSSES ZONE 03
set(handles.LS_ZONE03, 'string', LS_ZONE03);

%DATA LOSSES ZONE 04
set(handles.LS_ZONE04, 'string', LS_ZONE04);

%DATA LOSSES ZONE 05
set(handles.LS_ZONE05, 'string', LS_ZONE05);

%DATA LOSSES ZONE 06
set(handles.LS_ZONE06, 'string', LS_ZONE06);

%DATA LOSSES ZONE 07
set(handles.LS_ZONE07, 'string', LS_ZONE07);

%DATA LOSSES ZONE 08
set(handles.LS_ZONE08, 'string', LS_ZONE08);
```

```
% --- Executes on button press in T_LU.
function T_LU_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to T_LU (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
run DC_POWER_FLOW_LOADING_UNLOADING
```

```
%DATA TOTAL PORT SIDE
```

```
set(handles.P_PORT_CONNECTED, 'string', P_DATA_PORT_CONNECTED);  
set(handles.P_PORT_CONSUMED, 'string', P_DATA_PORT_CONSUMED);  
set(handles.P_PORT_AVAILABLE, 'string', P_DATA_PORT_AVAILABLE);
```

```
%DATA TOTAL STARBOARD
```

```
set(handles.P_STB_CONNECTED, 'string', P_DATA_STB_CONNECTED);  
set(handles.P_STB_CONSUMED, 'string', P_DATA_STB_CONSUMED);  
set(handles.P_STB_AVAILABLE, 'string', P_DATA_STB_AVAILABLE);
```

```
%DATA GENERATOR 1
```

```
set(handles.P_GEN01, 'string', P_DATA_GEN01);  
set(handles.V_GEN01, 'string', V_DATA_GEN01);
```

```
%DATA GENERATOR 2
```

```
set(handles.P_GEN02, 'string', P_DATA_GEN02);  
set(handles.V_GEN02, 'string', V_DATA_GEN02);
```

```
%DATA GENERATOR 3
```

```
set(handles.P_GEN03, 'string', P_DATA_GEN03);  
set(handles.V_GEN03, 'string', V_DATA_GEN03);
```

```
%DATA GENERATOR 4
```

```
set(handles.P_GEN04, 'string', P_DATA_GEN04);  
set(handles.V_GEN04, 'string', V_DATA_GEN04);
```

```
%DATA GENERATOR 5
```

```
set(handles.P_GEN05, 'string', P_DATA_GEN05);  
set(handles.V_GEN05, 'string', V_DATA_GEN05);
```

```
%DATA GENERATOR 6
```

```
set(handles.P_GEN06, 'string', P_DATA_GEN06);  
set(handles.V_GEN06, 'string', V_DATA_GEN06);
```

```
%DATA PORT BUS
```

```
set(handles.P_PORT_BUS, 'string', P_DATA_PORT_BUS);  
set(handles.V_PORT_BUS, 'string', V_DATA_PORT_BUS);
```

```
%DATA STB BUS
```

```
set(handles.P_STB_BUS, 'string', P_DATA_STB_BUS);  
set(handles.V_STB_BUS, 'string', V_DATA_STB_BUS);
```

```
%DATA ZONE 01
```

```
set(handles.P_ZONE_01, 'string', P_DATA_ZONE_01);  
set(handles.V_ZONE_01, 'string', V_DATA_ZONE_01);
```

```
%DATA ZONE 02
```

```
set(handles.P_ZONE_02, 'string', P_DATA_ZONE_02);
```

```
set(handles.V_ZONE_02, 'string', V_DATA_ZONE_02);
```

```
%DATA ZONE 03
```

```
set(handles.P_ZONE_03, 'string', P_DATA_ZONE_03);  
set(handles.V_ZONE_03, 'string', V_DATA_ZONE_03);
```

```
%DATA ZONE 04
```

```
set(handles.P_ZONE_04, 'string', P_DATA_ZONE_04);  
set(handles.V_ZONE_04, 'string', V_DATA_ZONE_04);
```

```
%DATA ZONE 05
```

```
set(handles.P_ZONE_05, 'string', P_DATA_ZONE_05);  
set(handles.V_ZONE_05, 'string', V_DATA_ZONE_05);
```

```
%DATA ZONE 06
```

```
set(handles.P_ZONE_06, 'string', P_DATA_ZONE_06);  
set(handles.V_ZONE_06, 'string', V_DATA_ZONE_06);
```

```
%DATA ZONE 07
```

```
set(handles.P_ZONE_07, 'string', P_DATA_ZONE_07);  
set(handles.V_ZONE_07, 'string', V_DATA_ZONE_07);
```

```
%DATA ZONE 08
```

```
set(handles.P_ZONE_08, 'string', P_DATA_ZONE_08);  
set(handles.V_ZONE_08, 'string', V_DATA_ZONE_08);
```

```
%DATA MP 01
```

```
set(handles.P_MP_01, 'string', P_DATA_MP_01);  
set(handles.V_MP_01, 'string', V_DATA_MP_01);
```

```
%DATA MP 02
```

```
set(handles.P_MP_02, 'string', P_DATA_MP_02);  
set(handles.V_MP_02, 'string', V_DATA_MP_02);
```

```
%DATA LOSSES PORTSIDE GEN
```

```
set(handles.LOSSES_PORT, 'string', LOSSES_PORT);
```

```
%DATA LOSSES STARBOARD GEN
```

```
set(handles.LOSSES_STB, 'string', LOSSES_STB);
```

```
%DATA LOSSES PORTSIDE BUS
```

```
set(handles.LS_PBUS, 'string', LS_PBUS);
```

```
%DATA LOSSES STARBOARD BUS
```

```
set(handles.LS_SBUS, 'string', LS_SBUS);
```

```
%DATA LOSSES MP 01
```

```
set(handles.LS_MP01, 'string', LS_MP01);
```

```
%DATA LOSSES MP 02
```

```
set(handles.LS_MP02, 'string', LS_MP02);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 01
set(handles.LS_ZONE01, 'string', LS_ZONE01);

%DATA LOSSES ZONE 02
set(handles.LS_ZONE02, 'string', LS_ZONE02);

%DATA LOSSES ZONE 03
set(handles.LS_ZONE03, 'string', LS_ZONE03);

%DATA LOSSES ZONE 04
set(handles.LS_ZONE04, 'string', LS_ZONE04);

%DATA LOSSES ZONE 05
set(handles.LS_ZONE05, 'string', LS_ZONE05);

%DATA LOSSES ZONE 06
set(handles.LS_ZONE06, 'string', LS_ZONE06);

%DATA LOSSES ZONE 07
set(handles.LS_ZONE07, 'string', LS_ZONE07);

%DATA LOSSES ZONE 08
set(handles.LS_ZONE08, 'string', LS_ZONE08);


% --- Executes on button press in T_ST.
function T_ST_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to T_ST (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

run DC_POWER_FLOW_STANDBY

%DATA TOTAL PORT SIDE
set(handles.P_PORT_CONNECTED, 'string', P_DATA_PORT_CONNECTED);
set(handles.P_PORT_CONSUMED, 'string', P_DATA_PORT_CONSUMED);
set(handles.P_PORT_AVAILABLE, 'string', P_DATA_PORT_AVAILABLE);

%DATA TOTAL STARBOARD
set(handles.P_STB_CONNECTED, 'string', P_DATA_STB_CONNECTED);
set(handles.P_STB_CONSUMED, 'string', P_DATA_STB_CONSUMED);
```

```
set(handles.P_STB_AVAILABLE, 'string', P_DATA_STB_AVAILABLE);
```

#### %DATA GENERATOR 1

```
set(handles.P_GEN01, 'string', P_DATA_GEN01);  
set(handles.V_GEN01, 'string', V_DATA_GEN01);
```

#### %DATA GENERATOR 2

```
set(handles.P_GEN02, 'string', P_DATA_GEN02);  
set(handles.V_GEN02, 'string', V_DATA_GEN02);
```

#### %DATA GENERATOR 3

```
set(handles.P_GEN03, 'string', P_DATA_GEN03);  
set(handles.V_GEN03, 'string', V_DATA_GEN03);
```

#### %DATA GENERATOR 4

```
set(handles.P_GEN04, 'string', P_DATA_GEN04);  
set(handles.V_GEN04, 'string', V_DATA_GEN04);
```

#### %DATA GENERATOR 5

```
set(handles.P_GEN05, 'string', P_DATA_GEN05);  
set(handles.V_GEN05, 'string', V_DATA_GEN05);
```

#### %DATA GENERATOR 6

```
set(handles.P_GEN06, 'string', P_DATA_GEN06);  
set(handles.V_GEN06, 'string', V_DATA_GEN06);
```

#### %DATA PORT BUS

```
set(handles.P_PORT_BUS, 'string', P_DATA_PORT_BUS);  
set(handles.V_PORT_BUS, 'string', V_DATA_PORT_BUS);
```

#### %DATA STB BUS

```
set(handles.P_STB_BUS, 'string', P_DATA_STB_BUS);  
set(handles.V_STB_BUS, 'string', V_DATA_STB_BUS);
```

#### %DATA ZONE 01

```
set(handles.P_ZONE_01, 'string', P_DATA_ZONE_01);  
set(handles.V_ZONE_01, 'string', V_DATA_ZONE_01);
```

#### %DATA ZONE 02

```
set(handles.P_ZONE_02, 'string', P_DATA_ZONE_02);  
set(handles.V_ZONE_02, 'string', V_DATA_ZONE_02);
```

#### %DATA ZONE 03

```
set(handles.P_ZONE_03, 'string', P_DATA_ZONE_03);  
set(handles.V_ZONE_03, 'string', V_DATA_ZONE_03);
```

#### %DATA ZONE 04

```
set(handles.P_ZONE_04, 'string', P_DATA_ZONE_04);  
set(handles.V_ZONE_04, 'string', V_DATA_ZONE_04);
```

#### %DATA ZONE 05

```
set(handles.P_ZONE_05, 'string', P_DATA_ZONE_05);  
set(handles.V_ZONE_05, 'string', V_DATA_ZONE_05);
```

```
%DATA ZONE 06
```

```
set(handles.P_ZONE_06, 'string', P_DATA_ZONE_06);  
set(handles.V_ZONE_06, 'string', V_DATA_ZONE_06);
```

```
%DATA ZONE 07
```

```
set(handles.P_ZONE_07, 'string', P_DATA_ZONE_07);  
set(handles.V_ZONE_07, 'string', V_DATA_ZONE_07);
```

```
%DATA ZONE 08
```

```
set(handles.P_ZONE_08, 'string', P_DATA_ZONE_08);  
set(handles.V_ZONE_08, 'string', V_DATA_ZONE_08);
```

```
%DATA MP 01
```

```
set(handles.P_MP_01, 'string', P_DATA_MP_01);  
set(handles.V_MP_01, 'string', V_DATA_MP_01);
```

```
%DATA MP 02
```

```
set(handles.P_MP_02, 'string', P_DATA_MP_02);  
set(handles.V_MP_02, 'string', V_DATA_MP_02);
```

```
%DATA LOSSES PORTSIDE GEN
```

```
set(handles.LOSSES_PORT, 'string', LOSSES_PORT);
```

```
%DATA LOSSES STARBOARD GEN
```

```
set(handles.LOSSES_STB, 'string', LOSSES_STB);
```

```
%DATA LOSSES PORTSIDE BUS
```

```
set(handles.LS_PBUS, 'string', LS_PBUS);
```

```
%DATA LOSSES STARBOARD BUS
```

```
set(handles.LS_SBUS, 'string', LS_SBUS);
```

```
%DATA LOSSES MP 01
```

```
set(handles.LS_MP01, 'string', LS_MP01);
```

```
%DATA LOSSES MP 02
```

```
set(handles.LS_MP02, 'string', LS_MP02);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 01
```

```
set(handles.LS_ZONE01, 'string', LS_ZONE01);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 02
```

```
set(handles.LS_ZONE02, 'string', LS_ZONE02);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 03
```

```
set(handles.LS_ZONE03, 'string', LS_ZONE03);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 04
```



```
set(handles.LS_ZONE04, 'string', LS_ZONE04);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 05
```

```
set(handles.LS_ZONE05, 'string', LS_ZONE05);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 06
```

```
set(handles.LS_ZONE06, 'string', LS_ZONE06);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 07
```

```
set(handles.LS_ZONE07, 'string', LS_ZONE07);
```

```
%DATA LOSSES ZONE 08
```

```
set(handles.LS_ZONE08, 'string', LS_ZONE08);
```

```
% --- Executes on button press in AL_PF.
```

```
function AL_PF_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject    handle to AL_PF (see GCBO)
```

```
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% --- Executes on button press in AL_DI.
```

```
function AL_DI_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject    handle to AL_DI (see GCBO)
```

```
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```



# Lampiran V

## Rincian harga sistem

### Segregated System: Cable

ESTIMASI BIAYA		SEGREGATED - KABEL						
	Item	Power (kW)/TYPE	Amps Rating	Quantity	Unit	Unit Cost		Architect's Estimate
	LINE BATT	1.0MCUN3	16	20		Rp	50.000,00	Rp 1.000.000,00
	Line DBCN Nav Bridge Deck	1.0MCUN4	10	20		Rp	33.000,00	Rp 660.000,00
	Line DBCU Engine Control	1.0MCUN2	16	10		Rp	50.000,00	Rp 500.000,00
	Line DBLB Bridge Deck	1.0MCUN4	6.0	20		Rp	25.000,00	Rp 500.000,00
	Line DBLM Main Deck	1.0NCUS3	16	20		Rp	50.000,00	Rp 1.000.000,00
	Line DBLN NAV Bridge Deck	1.0MCUN4	10	20		Rp	33.000,00	Rp 660.000,00
	Line DBLU Under Main Deck	1.0MCUN4	16	20		Rp	50.000,00	Rp 1.000.000,00
	Line DBNL Nav Lamp	1.0MCUN2	10	10		Rp	33.000,00	Rp 330.000,00
	LINE EMG	0.6MALN3	400	30		Rp	1.200.000,00	Rp 36.000.000,00
	Line Galley	1.0NCUN4	2.5	20		Rp	17.000,00	Rp 340.000,00
	Line Gen 1	0.6MALN3	400	5		Rp	1.200.000,00	Rp 6.000.000,00
	Line Gen 2	0.6MALN3	400	5		Rp	1.200.000,00	Rp 6.000.000,00
	Line Nav 1	1.0MCUN2	16	10		Rp	50.000,00	Rp 500.000,00
	Line Nav 2	1.0MCUN2	16	10		Rp	50.000,00	Rp 500.000,00
	Line Nav 3	0.6NCUN3	4	20		Rp	18.500,00	Rp 370.000,00
	Line Nav Com	0.6NCUN3	4	20		Rp	18.500,00	Rp 370.000,00
	Line Radio	1.0MCUN2	4.0	20		Rp	18.500,00	Rp 370.000,00
	LINE UTAMA	0.6MALN3	400	10		Rp	1.200.000,00	Rp 12.000.000,00
	Line Thruster	0.6MALN1	1000	40		Rp	3.000.000,00	Rp 120.000.000,00
	Line Ballast	0.6MALN3	120	20		Rp	380.000,00	Rp 7.600.000,00
	Line Steering Gear	1.0MCUN3	70	10		Rp	225.000,00	Rp 2.250.000,00
	Line AP Windlass	1.0MCUN4	50	20		Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line FP Windlass	1.0MCUN4	50	40		Rp	165.000,00	Rp 6.600.000,00
	Line Pompa Dinas Umum	0.6MALN3	120	20		Rp	380.000,00	Rp 7.600.000,00
	CRANE LINE	0.6MALN1	1000	30		Rp	3.000.000,00	Rp 90.000.000,00
	HEALING PUMP LINE	0.6MCUN1	750	20		Rp	2.000.000,00	Rp 40.000.000,00
	Line AHU	0.6MALN3	400	20		Rp	1.200.000,00	Rp 24.000.000,00
	Line STOVE	0.6MALN3	120	30		Rp	380.000,00	Rp 11.400.000,00
	Line Sp Fan Gen	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line FW Gen	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line LO GB No,2	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line CA No,2	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line ER AC No,1	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line CA No,1	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line Flood Light	1.0MCUN3	70	10		Rp	225.000,00	Rp 2.250.000,00
	Line ER Socket	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line MD Socket 2	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line Sp Fan Main Deck	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line LO GB No,1	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line ER AC No,2	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line MD Socket 1	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line MD Socket 4	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line MD Socket 5	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line Room Lamp 5	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line Room Socket 1	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line CA SV No,1	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line CA SV No,2	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line Room Lamp 4	1.0MCUN3	70	20		Rp	225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line Prov Crane	1.0MCUN4	50	20		Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line AP Windlass	1.0MCUN4	50	20		Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line FP Windlass	1.0MCUN4	50	20		Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line Sewage	1.0MCUN4	50	20		Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line FW Pump	1.0MCUN4	50	20		Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line SP ER No,1	1.0MCUN4	50	20		Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line SP ER No,2	1.0MCUN4	50	20		Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line STP	1.0MCUN4	50	20		Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line Mooring Capstan	1.0MCUN4	50	20		Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line Cap Bouy No,1	1.0MCUN4	50	20		Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line Cap Bouy No,2	1.0MCUN4	50	20	m	Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line FO Purifier No,1	1.0MCUN4	50	20	m	Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line FO Purifier No,2	1.0MCUN4	50	20	m	Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line OWS	1.0MCUN4	50	20	m	Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line Dirty Oil No,1	1.0MCUN4	50	20	m	Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line Dirty Oil No,2	1.0MCUN4	50	20	m	Rp	165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line LO No,1	1.0MCUN4	25	20	m	Rp	95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line LO No,2	1.0MCUN4	25	20	m	Rp	95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line FO No,1	1.0MCUN4	25	20	m	Rp	95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line FO No,2	1.0MCUN4	25	20	m	Rp	95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line DBGL	1.0MCUN4	25	20	m	Rp	95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line Freezer etc	1.0MCUN4	25	20	m	Rp	95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line CO AC No,1	1.0MCUN4	25	20	m	Rp	95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line CO AC No,2	1.0MCUN4	25	20	m	Rp	95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line Davits No,1	1.0MCUN4	25	20	m	Rp	95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line Davits No,2	1.0MCUN4	25	20	m	Rp	95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line Radar S	1.0MCUN4	25	10	m	Rp	95.000,00	Rp 950.000,00
	Line MF/HF Radio	1.0MCUN4	25	10	m	Rp	95.000,00	Rp 950.000,00
	Line Search Light No,1	1.0MCUN4	25	10	m	Rp	95.000,00	Rp 950.000,00
	Line Search Light No,2	1.0MCUN4	25	10	m	Rp	95.000,00	Rp 950.000,00

ESTIMASI BIAYA		SEGREGATED - KABEL						
Item	Power (kW)/TYPE	Amps Rating	Quantity	Unit	Unit Cost		Architect's Estimate	
Line WH AC No,1	1.0MCUN4	25	10	m	Rp	95.000,00	Rp	950.000,00
Line WR AC No,2	1.0MCUN4	25	10	m	Rp	95.000,00	Rp	950.000,00
Line CO SW No,2	1.0MCUN4	25	20	m	Rp	95.000,00	Rp	1.900.000,00
Line CO FW No,1	1.0MCUN4	25	20	m	Rp	95.000,00	Rp	1.900.000,00
Line CO SW No,1	1.0MCUN4	25	20	m	Rp	95.000,00	Rp	1.900.000,00
Line Heater No1	1.0MCUN3	16	20	m	Rp	50.000,00	Rp	1.000.000,00
Line Heater No2	1.0MCUN3	16	20	m	Rp	50.000,00	Rp	1.000.000,00
Line Heater No3	1.0MCUN3	16	20	m	Rp	50.000,00	Rp	1.000.000,00
Line Heater No4	1.0MCUN3	16	20	m	Rp	50.000,00	Rp	1.000.000,00
Line MD Lamp 2	1.0MCUN3	16	20	m	Rp	50.000,00	Rp	1.000.000,00
Line MD Socket 3	1.0MCUN3	16	20	m	Rp	50.000,00	Rp	1.000.000,00
Line Hydro FW	1.0MCUN3	16	20	m	Rp	50.000,00	Rp	1.000.000,00
Line Hydro SW	1.0MCUN3	16	20	m	Rp	50.000,00	Rp	1.000.000,00
Line Room Socket 2	1.0MCUN3	16	20	m	Rp	50.000,00	Rp	1.000.000,00
Line MD Lamp 8	1.0MCUN3	16	20	m	Rp	50.000,00	Rp	1.000.000,00
Line Radar X	1.0MCUN3	16	10	m	Rp	50.000,00	Rp	500.000,00
Line WH Socket 1	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line WH Socket 2	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line MD Lamp 3	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line Store Lamp	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line Ex Fan Bath	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line GW Lamp	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line ECR Lamp	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line MD Lamp 4	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line AE Lamp	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line Adressor	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line Gyro	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line MD Lamp 1	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line Navtec Receiver	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line WH Lamp 1	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line WH Lamp 2	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line WH Lamp 3	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line VHF	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line Wiper	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line Telepon	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line BD Lamp 3	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line ER Lamp 2	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line NDO Lamp 1	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line Mas, Morse, Hal, Jangk	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line NUC RAM	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line Room Lamp 2	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line Room Lamp 3	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line ER Lamp 1	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line WRO Lamp 3	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line MD Lamp 5	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line PORT, STB	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line BD Lamp 4	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line Smoke Det	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line Auto Pilot	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line ECD	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line Intercom	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line SSAS	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line Room Lamp 1	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line BD Lamp 1	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line ER Lamp 3	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line BNWAS	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line WRO Lamp 1	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line WRO Lamp 2	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line AIS	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line Clear View Screen	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line Engine Telegrap	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line Speed Log	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line Wheather Fax	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line WH Lamp 4	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line MD Lamp 6	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line BD Lamp 2	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Line Compass	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line GPS Map	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line MD Lamp 7	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Eco Sounder	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line Wind Ind,	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line GPS Nav	1.0MCUN4	10	10	m	Rp	33.000,00	Rp	330.000,00
Line Rudder Angle	1.0MCUN4	10	20	m	Rp	33.000,00	Rp	660.000,00
Sub Total							Rp	592.000.000,00
Sub Total + 20% Labour							Rp	710.400.000,00

## Segregated System: Busbar

ESTIMASI BIAYA		SEGREGATED SYSTEM- BUS						
Item	Power (kW)/TYPE	Amps Rating	Quantity		Unit	Unit Cost	Architect's Estimate	
BATT LOAD BUS	12,28	61,4	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
DBDCN BUS	1,39	6,95	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
DBDCU BUS	2,027	10,135	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
DBLB BUS	13,75	68,75	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
DBLM BUS	17,98	89,9	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
DBLN BUS	13,47	67,35	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
DBLU BUS	5,105	25,525	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
DBNL BUS	7,313	36,565	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
ESB	123,4	617	5	1	20x10mm	Rp 700.000,00	Rp	3.500.000,00
GALLEY BUS	29,41	147,05	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
GEN 1 BUS	758,7	3793,5	1	1	200x10mm	Rp 7.000.000,00	Rp	7.000.000,00
GEN 2 BUS	758,7	3793,5	1	1	200x10mm	Rp 7.000.000,00	Rp	7.000.000,00
MSB	1517	7585	5	3	200x10x3	Rp 7.000.000,00	Rp	105.000.000,00
NAV EQ 01 BUS	0,74	3,7	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
NAV EQ 02 BUS	0,814	4,07	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
NAV EQ 03 BUS	1,337	6,685	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
NAVCOM BUS	3,275	16,375	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
RADIO BUS	2,52	12,6	1	1	15x3mm	Rp 210.000,00	Rp	210.000,00
SYNC BUS	1517	7585	1	3	200x10x3	Rp 7.000.000,00	Rp	21.000.000,00
Sub Total							Rp	146.440.000,00
Sub Total + 30% Labour + Breaker							Rp	190.372.000,00

## Segregated System: Diesel Engine

ESTIMASI BIAYA		SEGREGATED SYSTEM – DIESEL ENGINE				
	Item	Power (kW)	Quantity	Unit	Unit Cost	Architect's Estimate
	Diesel Engine 1	2750 kW	1	Unit	\$ 800.000,00	Rp 10.400.000.000,00
	Diesel Engine 2	2750 kW	1	Unit	\$ 800.000,00	Rp 10.400.000.000,00
	Sub Total					Rp 20.800.000.000,00
	Sub Total + 20% Labour					Rp 24.960.000.000,00

## Segregated System: Diesel Generator

	ESTIMASI BIAYA	SEGREGATED SYSTEM - DIESEL GENERATOR				
	Item	Power (kW)	Quantity	Unit	Unit Cost	Architect's Estimate
	Diesel Generator 1	300 kVA	1	Unit	\$ 70.000,00	Rp 910.000.000,00
	Diesel Generator 2	300 kVA	1	Unit	\$ 70.000,00	Rp 910.000.000,00
	Sub Total					Rp 1.820.000.000,00
	Sub Total + 20% Labour					Rp 2.184.000.000,00

## Zonal System: Cable

ESTIMASI BIAYA		ZONAL - KABEL						
Item	Power (kW)/TYPE	Amps Rating	Quantity		Unit	Unit Cost	Architect's Estimate	
CRANE LINE	0.6MALN1	1000	5		m	Rp 3.000.000,00	Rp	15.000.000,00
HEALING PUMP LINE	0.6MCUN1	750	10		m	Rp 2.000.000,00	Rp	20.000.000,00
LINE BATT	1.0MCUN3	70	10		m	Rp 225.000,00	Rp	2.250.000,00
Line DBCN Nav Bridge Deck	1.0MCUN4	25	10		m	Rp 95.000,00	Rp	950.000,00
Line DBDCU Engine Control	1.0MCUN2	25	10		m	Rp 95.000,00	Rp	950.000,00
Line DBLB Bridge Deck	1.0MCUN4	35	10		m	Rp 125.000,00	Rp	1.250.000,00
Line DBLM Main Deck	1.0NCUS3	50	10		m	Rp 165.000,00	Rp	1.650.000,00
Line DBLN NAV Bridge Deck	1.0MCUN4	50	10		m	Rp 165.000,00	Rp	1.650.000,00
Line DBLU Under Main Deck	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp	1.900.000,00
Line DBNL Nav Lamp	1.0MCUN2	35	10		m	Rp 125.000,00	Rp	1.250.000,00
Line Galley	1.0NCUN1	500	5		m	Rp 1.600.000,00	Rp	8.000.000,00
Line Nav 1	1.0MCUN2	25	10		m	Rp 95.000,00	Rp	950.000,00
Line Nav 2	1.0MCUN2	25	10		m	Rp 95.000,00	Rp	950.000,00
Line Nav 3	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp	1.900.000,00
Line Nav Com	11MCUS1	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp	1.900.000,00
Line Radio	1.0MCUN2	25	10		m	Rp 95.000,00	Rp	950.000,00
PORT LINE	0.6MALN1	1000	10		m	Rp 3.000.000,00	Rp	30.000.000,00
STARB LINE	0.6MALN1	1000	10		m	Rp 3.000.000,00	Rp	30.000.000,00
ZONE 1A	11NALS3	185	15		m	Rp 580.000,00	Rp	8.700.000,00
ZONE 2 A	0.6NCUN1	50	25		m	Rp 95.000,00	Rp	2.375.000,00
ZONE 3 B	0.6MCUN3	1000	10		m	Rp 3.000.000,00	Rp	30.000.000,00

	ESTIMASI BIAYA	ZONAL - KABEL						
	Item	Power (kW)/TYPE	Amps Rating	Quantity		Unit	Unit Cost	Architect's Estimate
	ZONE 4 A	11NCUS1	800	15		m	Rp 2.400.000,00	Rp 36.000.000,00
	ZONE 5 B	0.6MALN3	120	25		m	Rp 380.000,00	Rp 9.500.000,00
	ZONE 6 A	0.6MCUN1	750	15		m	Rp 2.000.000,00	Rp 30.000.000,00
	ZONE 7 B	1.0MCUN2	25	25		m	Rp 95.000,00	Rp 2.375.000,00
	ZONE 8 A	0.6MALN3	500	25		m	Rp 1.600.000,00	Rp 40.000.000,00
	Line Thruster	0.6MALN1	1000	10		m	Rp 3.000.000,00	Rp 30.000.000,00
	Line Ballast	0.6MALN3	120	5		m	Rp 380.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line Steering Gear	1.0MCUN3	70	10		m	Rp 225.000,00	Rp 2.250.000,00
	Line AP Windlass	1.0MCUN4	50	10		m	Rp 165.000,00	Rp 1.650.000,00
	Line FP Windlass	1.0MCUN4	50	10		m	Rp 165.000,00	Rp 1.650.000,00
	Line Pompa Dinas Umum	0.6MALN3	120	5		m	Rp 380.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line AHU	0.6MALN3	400	20		m	Rp 1.200.000,00	Rp 24.000.000,00
	Line STOVE	0.6MALN3	120	30		m	Rp 380.000,00	Rp 11.400.000,00
	Line Sp Fan Gen	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line FW Gen	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line LO GB No,2	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line CA No,2	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line ER AC No,1	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line CA No,1	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line Flood Light	1.0MCUN3	70	10		m	Rp 225.000,00	Rp 2.250.000,00
	Line ER Socket	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line MD Socket 2	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line Sp Fan Main Deck	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line LO GB No,1	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line ER AC No,2	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line MD Socket 1	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line MD Socket 4	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line MD Socket 5	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line Room Lamp 5	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line Room Socket 1	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line CA SV No,1	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line CA SV No,2	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line Room Lamp 4	1.0MCUN3	70	20		m	Rp 225.000,00	Rp 4.500.000,00
	Line Prov Crane	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line AP Windlass	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line FP Windlass	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line Sewage	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line FW Pump	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line SP ER No,1	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line SP ER No,2	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line STP	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line Mooring Capstan	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line Cap Bouy No,1	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line Cap Buoy No,2	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line FO Purifier No,1	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line FO Purifier No,2	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line OWS	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line Dirty Oil No,1	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line Dirty Oil No,2	1.0MCUN4	50	20		m	Rp 165.000,00	Rp 3.300.000,00
	Line LO No,1	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line LO No,2	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line FO No,1	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line FO No,2	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line DBGL	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line Freezer etc	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line CO AC No,1	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line CO AC No,2	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line Davits No,1	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line Davits No,2	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line Radar S	1.0MCUN4	25	10		m	Rp 95.000,00	Rp 950.000,00
	Line MF/HF Radio	1.0MCUN4	25	10		m	Rp 95.000,00	Rp 950.000,00
	Line Search Light No,1	1.0MCUN4	25	10		m	Rp 95.000,00	Rp 950.000,00
	Line Search Light No,2	1.0MCUN4	25	10		m	Rp 95.000,00	Rp 950.000,00
	Line WH AC No,1	1.0MCUN4	25	10		m	Rp 95.000,00	Rp 950.000,00
	Line WR AC No,2	1.0MCUN4	25	10		m	Rp 95.000,00	Rp 950.000,00
	Line CO SW No,2	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line CO FW No,1	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line CO SW No,1	1.0MCUN4	25	20		m	Rp 95.000,00	Rp 1.900.000,00
	Line Heater No1	1.0MCUN3	16	20		m	Rp 50.000,00	Rp 1.000.000,00
	Line Heater No2	1.0MCUN3	16	20		m	Rp 50.000,00	Rp 1.000.000,00
	Line Heater No3	1.0MCUN3	16	20		m	Rp 50.000,00	Rp 1.000.000,00
	Line Heater No4	1.0MCUN3	16	20		m	Rp 50.000,00	Rp 1.000.000,00
	Line MD Lamp 2	1.0MCUN3	16	20		m	Rp 50.000,00	Rp 1.000.000,00
	Line MD Socket 3	1.0MCUN3	16	20		m	Rp 50.000,00	Rp 1.000.000,00
	Line Hydro FW	1.0MCUN3	16	20		m	Rp 50.000,00	Rp 1.000.000,00
	Line Hydro SW	1.0MCUN3	16	20		m	Rp 50.000,00	Rp 1.000.000,00
	Line Room Socket 2	1.0MCUN3	16	20		m	Rp 50.000,00	Rp 1.000.000,00
	Line MD Lamp 8	1.0MCUN3	16	20		m	Rp 50.000,00	Rp 1.000.000,00
	Line Radar X	1.0MCUN3	16	10		m	Rp 50.000,00	Rp 500.000,00
	Line WH Socket 1	1.0MCUN4	10	20		m	Rp 33.000,00	Rp 660.000,00
	Line WH Socket 2	1.0MCUN4	10	20		m	Rp 33.000,00	Rp 660.000,00
	Line MD Lamp 3	1.0MCUN4	10	20		m	Rp 33.000,00	Rp 660.000,00
	Line Store Lamp	1.0MCUN4	10	20		m	Rp 33.000,00	Rp 660.000,00
	Line Ex Fan Bath	1.0MCUN4	10	20		m	Rp 33.000,00	Rp 660.000,00
	Line GW Lamp	1.0MCUN4	10	20		m	Rp 33.000,00	Rp 660.000,00
	Line ECR Lamp	1.0MCUN4	10	20		m	Rp 33.000,00	Rp 660.000,00
	Line MD Lamp 4	1.0MCUN4	10	20		m	Rp 33.000,00	Rp 660.000,00
	Line AE Lamp	1.0MCUN4	10	20		m	Rp 33.000,00	Rp 660.000,00
	Line Adressor	1.0MCUN4	10	10		m	Rp 33.000,00	Rp 330.000,00
	Line Gyro	1.0MCUN4	10	10		m	Rp 33.000,00	Rp 330.000,00



Zonal System: Diesel Generator

	ESTIMASI BIAYA	ZONAL - DIESEL GENERATOR				
	Item	Power / Ampere Rating	Quantity	Unit	Unit Cost	Architect's Estimate
	Diesel Generator 1	1500 kW	1	Unit	\$ 500.000,00	Rp 6.500.000.000,00
	Diesel Generator 2	1500 kW	1	Unit	\$ 500.000,00	Rp 6.500.000.000,00
	Diesel Generator 3	750 kW	1	Unit	\$ 250.000,00	Rp 3.250.000.000,00
	Diesel Generator 4	750 kW	1	Unit	\$ 250.000,00	Rp 3.250.000.000,00
	Diesel Generator 5	750 kW	1	Unit	\$ 250.000,00	Rp 3.250.000.000,00
	Diesel Generator 6	750 kW	1	Unit	\$ 250.000,00	Rp 3.250.000.000,00
	GEN 01 LINE	12000 Amp	10	m	\$ 220,00	Rp 28.600.000,00
	GEN 02 LINE	12000 Amp	10	m	\$ 220,00	Rp 28.600.000,00
	GEN 03 LINE	6000 Amp	10	m	\$ 110,00	Rp 14.300.000,00
	GEN 04 LINE	6000 Amp	10	m	\$ 110,00	Rp 14.300.000,00
	GEN 05 LINE	6000 Amp	10	m	\$ 110,00	Rp 14.300.000,00
	GEN 06 LINE	6000 Amp	10	m	\$ 110,00	Rp 14.300.000,00
	GEN 01 BUS	2345 kW	1	150x100mm	Rp 3.500,00	Rp 45.500.000,00
	GEN 02 BUS	2345 kW	1	150x100mm	Rp 3.500,00	Rp 45.500.000,00
	GEN 03 BUS	2345 kW	1	150x100mm	Rp 1.750,00	Rp 22.750.000,00
	GEN 04 BUS	2345 kW	1	150x100mm	Rp 1.750,00	Rp 22.750.000,00
	GEN 05 BUS	2345 kW	1	150x100mm	Rp 1.750,00	Rp 22.750.000,00
	GEN 06 BUS	2345 kW	1	150x100mm	Rp 1.750,00	Rp 22.750.000,00
	PORT_GEN_SYNC_BUS	4690 kW	1	250x100mm	Rp 6.000,00	Rp 78.000.000,00
	STARB_GEN_SYNC_BUS	4690 kW	1	250x100mm	Rp 6.000,00	Rp 78.000.000,00
	Sub Total					Rp 26.452.400.000,00
	Sub Tota + 30% Labour + Breaker					Rp 34.388.120.000,00

Zonal System: Motor Propulsion

	ESTIMASI BIAYA	ELECTRICAL MOTOR				
	Item	Power (kW)	Quantity	Unit	Unit Cost	Architect's Estimate
	Electric Motor 1   6,6 kV	2750 kW	1	Unit	\$ 220.000,00	Rp 2.860.000.000,00
	Electric Motor 2   6,6 kV	2750 kW	1	Unit	\$ 220.000,00	Rp 2.860.000.000,00
	Generator Step Up	6000 kVA	1	Unit	\$ 100.000,00	Rp 1.300.000.000,00
	MP 01 LINE	12000 Amp	10	m	\$ 220,00	Rp 28.600.000,00
	MP 02 LINE	12000 Amp	10	m	\$ 220,00	Rp 28.600.000,00
	MP 01	1200 amp at 6,6 kV	80x10	mm	\$ 500,00	Rp 6.500.000,00
	MP 02	1200 amp at 6,6 kV	80x10	mm	\$ 500,00	Rp 6.500.000,00
	Sub Total					Rp 7.090.200.000,00
	Sub Total + 30% Labour + Breaker					Rp 9.217.260.000,00







## Biografi Penulis



**Danang Cahyagi**, dilahirkan di Tanjung Balai Karimun – Provinsi Kepulauan Riau pada tanggal 11 Juli 1995. Lulus S1 di Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember tahun 2016. Saat tesis ini dibuat penulis sedang menempuh program magister di program studi yang sama. Penulis memiliki visi untuk dapat memberikan solusi dan kontribusi dibidang kelistrikan khususnya pada sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi listrik pada kapal, pelabuhan, serta pulau – pulau kecil. Untuk mewujudkan visi tersebut, sejak tahun 2015 penulis bergabung sebagai anggota aktif di Laboratorium Listrik Kapal (*Marine Electrical and Automation System*) Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS dan mulai mendalami keilmuan mengenai sistem kelistrikan kapal. Penulis juga pernah menjadi pemakalah dalam beberapa seminar nasional dan internasional dalam lingkup keilmuan kelistrikan dan pengembangan pesisir. Meskipun demikian, penulis menyadari bahwa masih sangat dangkal keilmuan dan pengalaman yang saat ini penulis miliki. Oleh karenanya, penulis bertekad untuk terus belajar, bekerja, dan berdoa agar senantiasa diberikan kesempatan untuk terus mengasah diri dan bermanfaat bagi manusia dan dunia.

